

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О. П. Гапонова  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Вдосконалення технології цементації для нержавіючих сталей»

Студент гр. МТ.м-11 \_\_\_\_\_

Ворона К.Є.

Керівник \_\_\_\_\_

Харченко Н.А.

Консультант  
з економічної частини \_\_\_\_\_

Берладір Х. В.

Консультант  
з охорони праці \_\_\_\_\_

Говорун Т.П.

Нормоконтроль \_\_\_\_\_

Дегула А. І.

Суми 2022

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О. П. Гапонова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

\_\_\_\_\_ Ворона Катерина Євгенівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Вдосконалення технології цементації нержавіючих сталей»  
Затверджена наказом по університету від «01» листопада 2022 р. №0996-VI.
2. Термін здачі студентом роботи \_\_\_\_\_.
3. Вихідні дані проекту (роботи): аналіз літературних джерел.
4. 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.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення у роботі немає так, як робота дослідницького характеру.
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що стосуються їх:

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямків дослідження	04.09.2022- 04.10.2022	виконано
2	Розділ 2. Загальна методика та основні методи дослідження	05.10.2022- 12.10.2022	виконано
3	Розділ 3. Експериментальні дослідження та загальні результати	13.10.2022- 16.11.2022	виконано
4	Розділ 4. Економічна частина	17.11.2022- 28.11.2022	виконано
5	Розділ 5. Охорона праці, доквілля та техніки безпеки	29.11.2022- 07.12.2022	Виконано

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2022 р.

Студент: \_\_\_\_\_ Ворона К.Є.  
(підпис)

Керівник: \_\_\_\_\_ Харченко Н.А.  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

**Ворона Катерина Євгенівна.** Вдосконалення технології цементації нержавіючих сталей – **Рукопис.**

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2022.

Робота присвячена вдосконаленню технології цементації неіржавіючих сталей.

У роботі розглянуті питання використання неіржавіючої сталі перехідного структурного класу 14X17H2. Проаналізовані існуючі галузі раціонального використання даного матеріалу. Вивчені основні методи вдосконалення властивостей матеріалів даної групи. Досліджено вплив термічної та хіміко-термічної обробки нержавіючої сталі 14X17H2 на її структуру, твердість та стійкість до міжкristалітної корозії. Запропонований оптимальний, ефективний та комплексний режим термічної обробки. Для отримання високотвердого, зносостійкого поверхневого покриття в роботі запропонована комплексна, удосконалена обробка, яка містить дві послідовні технологічні операції: азотування та цементацією. Цементация проводиться на сучасному обладнанні за прискореним режимом, у вакуумі. Сформована при цього карбонітридна структура поверхні сталі 14X17H2 дозволяє підвищити поверхневу твердість, зносостійкість та корозійну стійкість виробів із даного матеріалу.

**Ключові слова:** ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, 14X17H2, НЕІРЖАВІЮЧА СТАЛЬ, ЦЕМЕНТАЦІЯ, АЗОТУВАННЯ, МАРТЕНСИТ, ФЕРИТ

## ABSTRACT

Master's thesis on the topic: "Improvement of cementation technology of stainless steels". The work is completed on 72 pages of printed text, contains 23 illustrations, 1 table, 0 appendices.

**Actuality of theme.** One of the main issues in the production of parts is to improve their quality. Surface strengthening of metals, alloys and products based on them is considered relevant and promising. Impregnation of product surfaces provides reliability and durability during the final heat treatment operations. Technological and modern equipment, as well as high efficiency and productivity of operations make surface strengthening the most modern and promising method of strengthening.

The issue of improvement, research of existing and development of new methods of strengthening to ensure high quality and increase the operational properties of parts and products is always relevant.

**Purpose and task.** Study of the effect of complex chemical and thermal treatment on the microstructure, hardness and resistance to intergranular corrosion of 14Kh17N2 steel.

For this, it is necessary to solve the following tasks:

1. to study modern existing technologies of thermal and chemical-thermal treatment of stainless steels
2. to analyze the relationship between the technological parameters of the chemical and thermal treatment processes and the characteristics of the strengthened layer.
3. to determine the effect of chemical and thermal treatment on the hardness and resistance to intergranular corrosion of stainless steel.
4. calculate the optimal technological parameters of the regime of strengthening treatment.

**Object of study.** Diffusion carbide, nitride and carbonitride coatings on 14X17N2 steel.

**Subject of study.** Microstructure and thickness of nitride, carbide and carbonitride coatings and their relationship with hardness and resistance to intergranular corrosion of 14Kh17N2 steel.

**Practical significance of scientific results.** Increasing the operational characteristics of a part made of 14Kh17N2 steel by improving the cementation method, which provides the specified strengthening parameters in the surface layers.

**Research methods** - microstructural metallographic analysis, durometric analysis, determination of resistance to intercrystalline corrosion. The experimental part of the work was carried out using modern equipment in laboratory conditions.

**Scientific novelty of the obtained results.** The influence of nitriding and cementation processes on the properties of 14Kh17N2 steel was investigated. For the first time, a modern process of diffusion metallization of pre-nitrided steel 14Kh17N2 was proposed. For the first time, it was determined that as a result of complex processing (nitriding and cementation) of stainless steels, a protective coating of iron carbonitride and chromium carbonitride is formed. It was established that the nitrided coating is a source of nitrogen for the formation of chromium carbonitride.

**Key words:** HEAT TREATMENT, 14X17H2, STAINLESS STEEL, CEMENTATION, NITRIDATION, MARTENSITE, FERRIT

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Вдосконалення технології цементації нержавіючих сталей». Робота виконана на 72 сторінках друкованого тексту, містить 23 ілюстрації, 1 таблицю, 0 додатків.

**Актуальність теми.** Одним з головних питань у виробництві деталей є підвищення їх якостей. Актуальним і перспективним вважається поверхневе зміцнення металів, сплавів і виробів на їх основі. Насичення поверхонь виробів надає надійність та довговічність на завершальних операціях термічної обробки. Технологічність та сучасність обладнання, а також висока ефективність й продуктивність операцій робить поверхневе зміцнення найсучаснішим та найперспективнішим методом зміцнення.

Завжди актуальним є питання удосконалення, дослідження існуючих та розробка нових методів зміцнення для забезпечення високих якостей та підвищення експлуатаційних властивостей деталей і виробів.

**Мета і завдання.** дослідження впливу комплексної хіміко-термічної обробки на мікроструктуру, твердість та стійкість до міжкристалітної корозії сталі 14X17H2.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. вивчити сучасні існуючі технології термічної і хіміко-термічної обробки нержавіючих сталей
2. проаналізувати взаємозв'язок між технологічними параметрами процесів хіміко-термічної обробки й характеристиками зміцненого шару.
3. визначити вплив хіміко-термічної обробки на твердість і стійкість до міжкристалітної корозії нержавіючої сталі.
4. розрахувати оптимальні технологічні параметри режиму зміцнюючої обробки.

**Об'єкт дослідження.** Дифузійні карбідні, нітридні та карбонітридні покриття на сталі 14X17H2.

**Предмет дослідження.** Мікроструктура та товщина нітридних, карбідних та карбонітридних покриттів та їх взаємозв'язок з твердістю та стійкістю до міжкристалітної корозії сталі 14X17H2.

**Практичне значення наукових результатів.** Підвищення експлуатаційних характеристик деталі зі сталі 14X17H2 шляхом вдосконалення методу цементації, що забезпечує в поверхневих шарах задані параметри зміцнення.

**Методи досліджень** – мікроструктурний металографічний аналіз, дюрOMETричний аналіз, визначення стійкості до міжкристалітної корозії. Експериментальну частину роботи проводили з використанням сучасного обладнання в лабораторних умовах.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Досліджено вплив процесів азотування, цементації на властивості сталі 14X17H2. Вперше запропоновано сучасний процес дифузійної металізації попередньо азотованої сталі 14X17H2. Вперше визначено що в результаті комплексної обробки (азотування та цементація) нержавіючих сталей формуються захисне покриття із карбонітриду заліза, карбонітриду хрому. Встановлено що азотоване покриття є джерелом азоту для формування карбонітриду хрому.

**Ключові слова:** ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, 14X17H2, НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ, ЦЕМЕНТАЦІЯ, АЗОТУВАННЯ, МАРТЕНСИТ, ФЕРИТ



## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	4
РЕФЕРАТ .....	4
ABSTRACT .....	4
ВСТУП.....	11
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>13</b>
1.1.Особливості сталі 14X17H2 та її застосування.....	13
1.2.Цементация.....	14
1.3.Азотування.....	18
1.4. Вплив режимів термічної обробки на структуру нержавіючої сталі.....	19
Висновки .....	22
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>23</b>
2.1.Матеріал дослідження .....	23
2.2. Рекомендована термічна обробка.....	24
2.3.Металографічний аналіз.....	24
2.4.Методи визначення твердості.....	29
2.5.Визначення стійкості до міжкристалітної корозії .....	33
Висновки .....	36
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>37</b>
3.1. Визначення структурного класу та призначення режиму термічної обробки сталі 14X17H2.....	37
Рисунок 3.1 – Структура сталі 14X17H2 за діаграмою Шеффлера [33].....	37
3.2.Результати металографічного аналізу сталі 14X17H2 після комплексної ТО .....	39
3.3.Визначення твердості. ....	48
3.4.Визначення стійкості до міжкристалітної корозії. ....	50
Висновки .....	51
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>53</b>
4.1. Теоретична частина.....	53
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....</b>	<b>57</b>

5.1. Техніка безпеки при ТО .....	57
Висновки .....	64
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	68

САНД

## ВСТУП

Сучасний світ потребує модернізації від усіх сфер діяльності, так і в інженерії. Усі методи отримання, обробки, аналізу деталей та виробів удосконалюються. Агресивні умови роботи деталей вимагають підвищення характеристик та властивостей виробів.

Удосконалення забезпечується більшою мірою новим імпортом устаткуванням, і також впровадженням нових технологічних операцій. Так важливими є експлуатаційні властивості, конкурентоспроможність, а нині й екологічність. Дана вимога стосується не лише комфортних умов праці, а й економічного використання матеріалів, енергії і впливає на конкурентоспроможність та економічність.

Однією з важливих задач сучасної інженерії є створення економічно легированих сталей. Її розв'язання може бути досягнуто шляхом насичення легуючими елементами лише відносно тонкого поверхневого шару.

Безперервний розвиток фінішного оброблення поверхонь сталі надає можливості вибору кращої для певного виробу. Підвищення твердості, зносостійкості та корозійної стійкості можуть бути досягнуті поверхневим гартуванням або хіміко-термічною обробкою (цементациєю, нітроцементациєю, азотуванням).

Цементация, азотування, нітроцементация – це хіміко-термічний процес насичення поверхневих шарів карбоном, азотом, вуглецем і азотом відповідно.

Вид поверхневої обробки вибирають залежно від призначення деталі, її навантаженості, необхідного рівня твердості поверхні, температури, середовища, в якому працює виріб, а все це в свою чергу зумовлює вибір конкретної марки матеріалу. Найвищу твердість (1000–1100 HV) забезпечує азотування. В

цементованих та нітроцементованих деталях після гартування з низьким відпуском можна отримати твердість поверхні 58-62 HRC.

У даній роботі визначено та призначено хіміко-термічну обробку нержавіючої сталі 14X17H2 для отримання її кращих основних характеристик: структури, твердості, корозійної стійкості. Вдосконаленням технології цементації запропоноване попереднє азотування. Структура сталі 14X17H2 за результатом даної обробки дозволяє отримати необхідні властивості готового виробу.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Особливості сталі 14X17H2 та її застосування.

Неіржавіючі сталі застосовують у великому спектрі сфер промисловості для виготовлення технологічного обладнання. Таке обладнання витримує великі механічні навантаження та агресивне корозійне середовище, неіржавіючі сталі поєднують у собі високі механічні властивості та високу технологічність [1].

Сталь 14X17H2 активно використовується для виготовлення деталей кріплення, деталей компресорів газових турбін, що працюють при підвищених температурах [2].

Сталь марки 14X17H2 вважається однією з найбільш жорстких та стійких до корозії, цим обумовлюється її широке використання та популярність у різних сферах діяльності. Ці властивості обумовлені також наявністю високого відсотку хрому та нікелю [3]. Повний хімічний склад наведений у таблиці 1.1.

14X17H2 є хромонікелевою та відноситься до мартенситного класу з малою часткою  $\delta$ -фериту. Режим термічної обробки значною мірою впливає на корозійну стійкість. В багатьох випадках 14X17H2 має таку є або навіть кращу стійкість до корозії ніж 17-% хромиста сталь [2].

Таблиця 1.1

Хімічний склад зразків сталі 14X17H2 (ГОСТ5632)

Марка сталі	Стандарт	Хімічний склад											Примітка
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	S	P	Cu	
14X17H2	ГОСТ 5632-72	0,110-0,170	≤0,800	≤0,800	16,000-18,000	≤0,300	1,500-2,500	≤0,200	≤0,200	≤0,025	≤0,030	≤0,300	Ti≤0,200

Мета термічної обробки в машинобудуванні полягає в:

- досягненні необхідних механічних властивостей;
- підвищенні працездатності, зняттям залишкових напружень в наслідок пластичних деформацій, технологічних операцій;
- зменшенні загрози корозійного розтріскування.
- отриманні необхідної структури;
- підвищенні загальної стійкості до корозії;
- ліквідації, схильності до міжкристалітної корозії;
- запобіганні крихких прошарків після зварювання [3].

Гартування при 1020-1060°C на повітрі або у маслі з відпуском при 650-700°C надає найкращу корозійну стійкість [2].

Схильність до міжкристалітної корозії зростає з нагріванням вище за 800°C. Більша температура – більша схильність [2].

Зниження корозійної стійкості досягається при розпаді мартенситу, що є причиною структурно-вибіркової корозії. Так при відпалюванні в 400-600°C охоплюються зони розпаду  $M \rightarrow \alpha + K$ , без феритної складової [2].

Для відновлення корозійної стійкості необхідна концентрація твердого розчину  $\alpha$ , в наслідок чого відбувається коагуляція карбідів в зонах перетворення  $\gamma \rightarrow \alpha$  та у феритній фазі. Цього можна досягти відпалюванням при температурі 650-700°C тривалість – 30-60 хвилин [2].

## **1.2.Цементация.**

Хіміко-термічна обробка, дифузійне насичення поверхневого шару сталей вуглецем з нагріванням у відповідному середовищі має назву – цементация [4-6]. При збереженні пластичної серцевини цементация дає високу твердість після

гартування, а також насичення вуглецем поверхневого шару сталі до 0,8-1,1% [4-6].

Цементация виконується на деталях з низьковуглецевих сталей, де вуглецю 0,1-0,2%, марок 20 та 15, а також легованих низьковуглецевих сталей марок 12Х, 20Г, 14Х17Н2, 18Х2Н4ВА та інших. Карбюризаторами при цементации будуть тверде, газообразне і рідке вуглецевовмістке середовища [4-6].

Цементация у твердому середовищі є найстарішим способом (твердий карбюризатор) [4-6]. Карбюризатором даного способу – суміш деревного вугілля та вуглекислих солей -  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та ін.. Доля солей у суміші – 10-40%.

На практиці використовують карбюризатори різного складу. Цементация в твердому карбюризаторі проводиться у цементацийному сталевому ящику, куди розміщують деталь та засипають її карбюризатором. Правильним розміщенням деталі у ящику буде вважатись тоді, коли деталь повністю оточена карбюризатором, не дотикається до інших деталей, стінок та дна (див.рис. 1.1). Поверх закритої кришки ящика намазується вогнетривка глина, а через її отвори вставляються стрижні «свідки» з такої ж низьковуглецевої сталі, що й оброблювана деталь. «Свідки» слугують для контролю процесу обробки. Ящик розміщують в піч та нагрівають до 900 - 950°С [4-6].

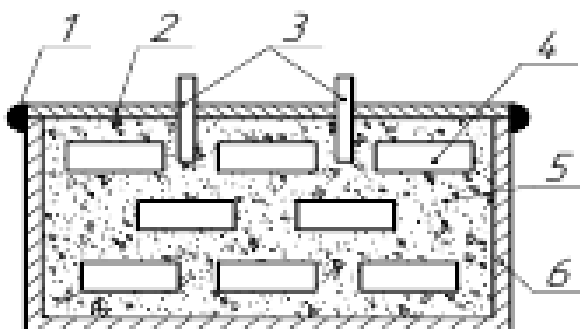


Рисунок 1.1. – Деталі цементации у ящику: 1 – замазка; 2 – кришка; 3 - свідки; 4 – деталі; 5 – карбюризатор; 6 – цементацийний ящик [4-6].

Зі зростанням температури починається процес цементації, а саме кисень повітря і вуглець повітря змішуються у ящику в окись вуглецю – CO [4-6]:



Далі цей окис розпадається на атомний вуглець (у вигляді атомів) та вуглекислий газ [4-6]:



Поверхневий шар пропускає у себе вуглець, що виділився. Деталі нагріті вище точки Ас3 – 900-950°C, тому утворюється γ-залізо. При прониканні у сталь атомний вуглець розчиняється у γ-залізі та утворюється аустеніт [4-6]:



Час витримки та температура, при якій витримують деталь, - головні чинники операції. Чим більше дані показники – тим більша глибина цементованого шару (див.рис. 1.2) [4-6].

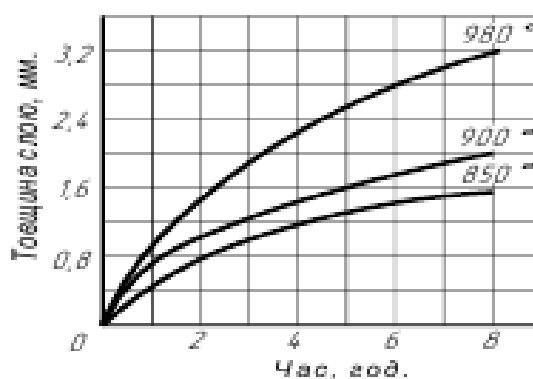


Рисунок 1.2 – Залежність температури та часу витримки на товщину цементованого шару у твердому карбюризаторі [4-6].

Газова цементація вважається більш досконалою, ніж цементація в твердому карбюризаторі [4-6]. Процес проводиться у печах, куди подається вуглецевовмісткий газ. Печі спеціальні герметично закриті: безперервної дії (муфельні та безмуфельні), спеціальні агрегати, стаціонарні (шахтні та камерні).



Карбюризатором слугує природній або штучний газ, а також може бути рідкий: піробензол, синтин, керосин та інші. При підвищенні температури рідкий карбюризатор розщеплюється та утворюється цементуючий газ [4-6].

Бажана глибина цементованого шару залежить від тривалості процесу. Зазвичай глибина шару 0,5-2 мм [4-6]. Деякі поверхні деталі не цементують повністю. Якщо необхідно обробити частину поверхні, іншу ізолюють тонким шаром міді або спеціальними обмазками.

Контроль обробки проводять одним з двох методів. Один з них виявлення шару покриття по макроструктурі. Також перевірку роблять по «свідкам». Їх виймають з отворів ящика, проводять гартування у воді і визначають глибину шару у зломі. Повне визначення глибини шару проводять за мікроструктурою. Три зони цементованого шару мають такі структури [4-6].

1. Перліт і цементит (заевтектоїдна зона на поверхні, С – 0,8-1,1%).
2. Перліт (евтектоїдна зона, С – 0,8%).
3. Ферит і перліт (перехідна доевтектоїдна зона)

З наближенням до серцевини перліту меншає, а фериту стає більше. Глибина шару – це сума двох перших зон та половини третьої [4-6].

Для досягнення високої твердості та зносостійкості, запобігання перегріву сталі після цементації деталь піддають термічній обробці. ТО обирають в залежності від призначення деталі [4-6].

Термічна обробка на поверхні шару утворює мартенсит з карбідами і твердість HRC 60-64. Одразу після цементації середина легованої сталі буде мати високу ударну в'язкість і структуру сорбіт, тростит або мартенсит. Вуглецева сталь – ферит, перліт [4-7].

Ще один вид цементації – рідинна. Обирають дану обробку для деталей малого розміру, яким потрібен тонкий цементований шар. Час витримки таких

деталей достатньо короткий – 45-90 хвилин. Використовують ванни з вмістом  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 75-85%,  $\text{NaCl}$  – 10-15% та  $\text{SiC}$  – 6-10% [4-7].

Даний аналіз умов роботи деталей і способів зміцнення дає змогу обрати правильну термічну обробку та технологію зміцнення для підвищення зносостійкості поверхонь тертя. Для зміцнення потрібно задовольнити наступні вимоги [8]:

- 1) мати низьку трудомісткість;
- 2) високу продуктивність;
- 3) малий вплив високої температури, щоб знизити короблення;
- 4) малі втрати зміцнюючого матеріалу;
- 5) отримувати потрібну форму без механічної обробки.

Розробка перспективних технологій зміцнення забезпечує високі властивості деталей: високу продуктивність, якісні зносостійкі покриття і зміцнення. Вдосконалення даних технологій є актуальною задачею для машинобудівництва [8].

### **1.3.Азотування.**

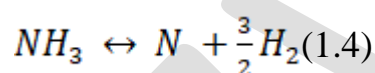
Ще один розповсюджений метод поверхневого зміцнення металів і сплавів – азотування. Дана обробка підвищує поверхневу твердість, корозійну стійкість, міцність [9-12].

Азотування є процесом хіміко-термічної обробки, під час якого поверхневий шар сталі дифузійно насичується азотом при підвищеній температурі у відповідному середовищі. Деталі, які піддаються азотуванню працюють при високих температурах в агресивних середовищах. Наприклад, гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згорання, які працюють на знос [13].

У порівнянні з цементованим азотоване покриття більш стійке до високих температур (450–500°C) і твердість шару вище. Цементоване покриття стійке до 200-250°C [13].

Низькотемпературне азотування проводять частіше, температура - 500-600°C. Високотемпературне проводять при 600–1200°C для сталей класу ферит, аустеніт і тугоплавких металів - Ti, Mo та інші.

Найпоширенішим методом азотування є газове. Даний вид азотування працює за таким принципом: з заданою швидкістю аміак надходить в реторту – герметичну камеру, і дисоціює:



Леговані фази ε- та γ- утворюються в наслідок азотування легованих сталей. Розчинність азоту в α-фазі стає вище, а нітриди MeN, Me<sub>2</sub>N виділяються у дрібнодисперсному стані, коли легуючі елементи розчиняються у фериті. Як наслідок підвищується твердість азотованого шару [13].

Процес азотування досить довгий, тому тривалий час велись роботи по удосконаленню обробки. У науковій літературі є інформація по пришвидшенню процесу, наприклад радіоактивним випромінюванням, високими температурами, тліючим розрядом, ультразвуком та ін.. При азотуванні високими температурами можливий подальший гарт з відпуском або обробкою холодом [9-12].

Для неіржавіючих сталей азотування при високих температурах буде найкращим, бо утворюється більш гомогенна структура, що дає більшу стійкість до корозії. Азотування при звичайному режимі знижує корозійну стійкість [9-12].

#### **1.4. Вплив режимів термічної обробки на структуру нержавіючої сталі.**

Неіржавіюча сталь є легованою, а для її ефективного використання потрібно об'єктивно оцінити її позитивні та негативні характеристики у порівнянні з вуглецевими сталями [14].

Леговані сталі активно демонструють свої позитивні чинники після термічної обробки. Деталі, які були загартовані та мали відпуск мають вищі показники опору пластичної деформації при тому самому вмісті вуглецю, що й у вуглецевих сталях [14].

Для неіржавіючих сталей можливе гартування з легкими охолоджувачами, наприклад у маслі. Це обумовлюється наявністю легуючих елементів, які стабілізують структуру аустеніт. Гартування у маслі зменшує вигогідність браку гартівних тріщин й викривлень. Також в заданому перерізі сталь прожарюється наскрізь, що важливо для навантажених деталей великого перерізу. Тобто, прогартуваність вуглецевих сталей нижча за неіржавіючі леговані сталі [14].

Ймовірність браку легованих сталей у разі нижча за вуглецеві, навіть для великих виробів складної форми. Тому вибір легованих неіржавіючих сталей буде більш логічним та обґрунтованим [14].

Експлуатаційна надійність також буде вищою при використанні легованих сталей, особливо з вмістом нікелю. Завдяки більшому опору холодноламкості та запасу в'язкості [14].

У високовідпущеному стані вплив легуючих елементів на крихку міцність визначається тим, як ці елементи впливають на затвердіння карбідної та феритної фаз. Особливо позитивний вплив має нікель, що різко знижує поріг холодноламкості. Цей ефект нікелю спостерігається і у складних сталевих сплавах, що містять цей елемент [14].

Проте леговані сталі мають певні недоліки [15].

1. Багато легованих сталей схильні до оборотного відпускнуго крихтіння.
2. У високолегованих сталях кількість залишкового аустеніту збільшується після загартування, знижуючи твердість та опір втоми. Для видалення Aost потрібна додаткова обробка [15].

3. Леговані сталі більш схильні до дендритного розрідження, ніж вуглецеві сталі, через повільну дифузію легуючих елементів в залозі. Тому при кристалізації дендрити збагачуються легуючими елементами, а междендритний матеріал збагачується легуючими елементами. Після кування та виправлення такої сталі формується характерна лінійна структура та збільшується нерівномірність властивостей сталі за напрямом деформації. Сталь цієї конструкції погано обробляється. Леговані сталі міцніші за вуглецеві, але зазвичай мають погані ріжучі властивості при тому ж вмісті вуглецю. Це також ускладнює обробку тиском легованих сталей. Результати розрідження можна побачити після термічної обробки сталі [15].

4. Дуже небезпечним дефектом легованої сталі є флокени (особливо легованої нікелем сталі).

Флокени є яскравими плямами зламу. На поперечному зрізі флокени виглядають як дрібні тріщини у різних напрямках. Причиною утворення пластівців є виділення розчиненого водню у сталі. Розчинність водню сталі зменшується зі зниженням температури. Якщо сталь охолоджується повільно, водень, що виділяється зі сталі, встигає дифундувати по товщині зливка і лусочки утворюватися не будуть. При відносно швидкому охолодженні водень не встигає дифундувати і залишається в сталі, створюючи великі внутрішні тиски, що призводять до утворення тріщин. Якщо фазові перетворення також відбуваються в сталі в різний час у різних частинах зливка через неоднорідність складу, виникає додаткова відповідна сила, що збільшує агломерацію. Заходи боротьби з агломерацією включають зниження вмісту водню в сталі при плаванні, повільне охолодження зливка в області температур агломерації (нижче  $200^{\circ}\text{C}$ ), ізотермічний відпал зливка. Сталь з уже сформованими лусочками можна модифікувати, розплющивши або прокувавши заготовку на більш дрібні ділянки. При термопресуванні лусочки сплавляються між собою [15-17].

Особливістю термічної обробки аустенітно-мартенітних сталей є те, що вони можуть бути оброблені до стану аустенітної структури, що характеризується підвищеною пластичністю або до зміцненого стану мартенситної структури [15].

Існують наукові дослідження, спрямовані на визначення оптимального хімічного складу сталі, особливо якісної, з метою одержання матеріалів із певними механічними властивостями.

Необхідне поєднання властивостей визначається насамперед хімічним складом. Хімічний склад може змінюватися в процесі виробництва сталі в межах, встановлених нормативними документами (ГОСТ, ТУ) на марку, яка цікавить. При цьому найбільший вплив має вуглець, варіювання якого в межах (0,22-0,28) % не завжди гарантує гарантовані властивості міцності після термічної обробки [14-15].

### **Висновки**

Розвиток та модернізація у машинобудуванні стають причиною для розробки нових матеріалів з найвищими технологічними характеристиками, здатних забезпечити необхідні умови експлуатації, а також екологічність та економічність.

Нині найперспективнішими конструкційними матеріалами є корозійностійкі. Сталь 14X17H2 має високі механічні та хімічні властивості, тому є популярною і використовується у багатьох галузях промисловості.

Проаналізовано існуючі варіанти термічної обробки для сталі 14X17H2, розглянутий вплив легуючих елементів на термічну обробку. Також проаналізована така хіміко-термічна обробка як азотування та цементация.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Матеріал дослідження

Матеріалом для дослідження даної роботи є сталь 14X17H2 після сучасної комплексної хіміко-термічної обробки. Сталь 14X17H2 має гарну корозійну стійкість і жароміцність, а для підвищення твердості та іносостійкості в даній роботі пропонуємо сучасну хіміко-термічну обробку [2].



Рисунок 2.1 – Фото досліджуваних зразків зі сталі 14X17H2

Сталь 14X17H2 відноситься до класу корозійностійких, відносно недорогих, тому широко застосовується та популярна у різних сферах діяльності. Ці властивості також пояснюються високим відсотковим вмістом хрому та нікелю [2].

За літературними джерелами [2, 17] сталь 14X17H2 є хромонікелевою та відноситься до мартенситного класу з незначною часткою  $\delta$ -фериту. Крім того використання термічної обробки до даної сталі значною мірою впливає на корозійну стійкість. В багатьох випадках 14X17H2 після відповідної комплексної

термічної обробки має кращу стійкість до корозії ніж 17-% хромиста сталь [2, 17].

Після термічної обробки по раціональному режиму сталь має високі міцнісні та пластичні властивості при досить високій ударній в'язкості [17].

## **2.2. Рекомендована термічна обробка**

У ході роботи було запропоновано оптимальний режим термообробки, що складаються з попереднього відпалу, гартування, та відпуску, після яких проводиться азотування та цементация, гартування та відпуск.

Так як термічна та хіміко-термічна обробка має значний вплив на хіміко-фізичні характеристики та властивості сталей та сплавів, правильний вибір режиму обробки є необхідним.

Для сталі 14X17H2 в даній роботі пропонується реалізувати комплексну послідовну хіміко-термічну обробку: азотування та цементацию. Одним з етапів підготовки матеріалу основи до азотування є термічна обробка, яка складається з відпалу, гартування, відпуску. В свою чергу після цементации проводиться остаточна зміцнююча термічна обробка, яка складається з гартування та відпуску.

Для коректного відображення та контролю правильності призначення та проведення режиму обробки проводиться аналіз структури сталі.

## **2.3. Металографічний аналіз**

Металографічний аналіз проводиться для вивчення впливу хімічного складу та різних видів обробки на структуру металів. Розрізняють макроструктуру та



мікроструктуру. Тому металографічний аналіз поділяється на макроаналіз та мікроаналіз [19].

Макроструктури – це структури у металах досліджуються неозброєним оком чи за невеликому збільшенні (до 30x) [19].

Мікроструктура - це структура металу або сплаву, яку можна побачити за більшого збільшення (50x або більше) за допомогою мікроскопа [19].

Макроаналіз виконується на поздовжніх та поперечних макрозрізах (шаблонах) та тріщинах. Для успішного макроаналізу необхідно вибрати найбільш характерний переріз або злам досліджуваного виробу. Вирізані шаблони піддають механічній обробці, хімічному травленню та дослідженням [19].

Метою металографічного аналізу є визначення мікроструктури і фазового складу сталей, оцінка кількості, розмірів, форми і розподілу різних фаз; цей аналіз дозволяє також встановити зв'язок хімічного складу, умов виробництва та обробки сплаву з його мікроструктурою і властивостями. Для проведення металографічного аналізу необхідно приготувати металографічний шліф [19].

Оскільки мікроструктуру металів вивчають у відбитому світлі, відшліфована поверхня має відповідати багатьом вимогам [20].

- 1) мати мінімально деформаційні верстви;
- 2) бути плоскими (без «застрягань»), що дають можливість вивчення при великому збільшенні;
- 3) має максимальну відбивну здатність і не має подряпин чи отворів.
- 4) різні ділянки поверхні повинні по-різному відбивати світло. Це дозволяє розрізняти елементи мікроструктури (це досягається за рахунок нерівномірного відображення світла (поляризованого або неполяризованого, монохроматичного або поліхроматичного) від площини) [20].

Приготування металографічних шліфів зазвичай складається з наступних операцій [20]:

- вирізка зразка;
- підготовка поверхні;
- шліфування;
- полірування;
- травлення.

Вирізати, шліфувати і полірувати зразок слід так, щоб на його поверхні залишався мінімальний шар деформованого металу і не було подряпин, рисок, ямок і забруднень. У процесі приготування шліфа не повинні фарбуватися неметалеві включення, карбідні та інші фази. Крім того, поверхня шліфа повинна бути досить плоскою, щоб його можна було розглядати при великих збільшеннях [16].

Остання вимога особливо важлива при застосуванні автоматичних мікроскопів для кількісного аналізу [16].

Для вивчення мікроструктури зразка їх вирізають таким чином, щоб можна було визначити зміну її в поперечному перерізі і по висоті зразка. З м'яких матеріалів зразки вирізають пилкою, фрезою, різцем, тощо. Якщо ж твердість металу висока, то зразок вирізають карборундовими, алмазними або вулканітовими кругами [17].

Зведення до мінімуму деформації поверхні і нагрівання зразка на цій стадії підготовки досягається належним вибором інструменту і режиму обробки, а також інтенсивним охолодженням оброблюваної поверхні і інструменту [17].

Площа поверхні предметного шліфа зазвичай становить близько  $1 \text{ см}^2$ . Висота зразка повинна бути не менше 10 мм. Для вирізання невеликих зразків (стрічка, дріт тощо) їх після вирізування поміщають у циліндричні тримачі або заливають пластмасою (рис. 2.2 а) [20].

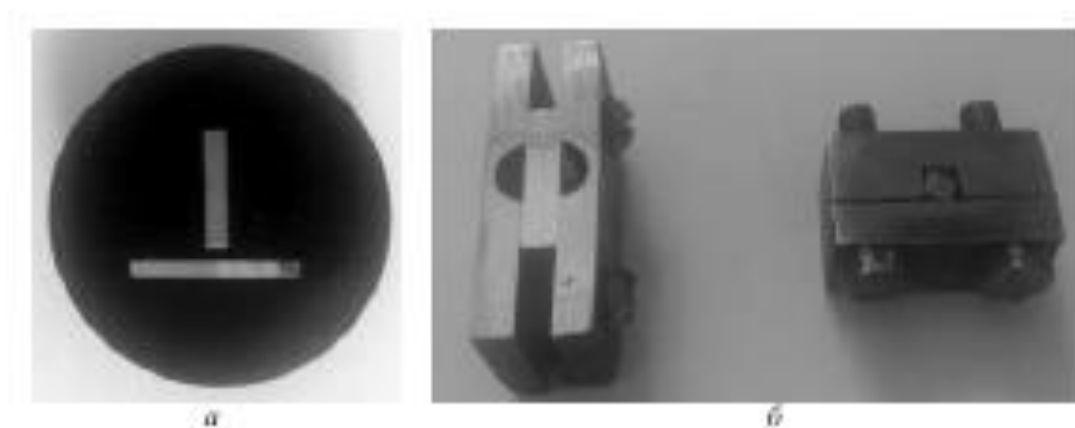


Рисунок 2.2 – Засоби фіксації зразків малих розмірів при пробопідготовці до металографічних досліджень:

а – пластмасова форма, б – струбцини різних форм [20]

У ряді випадків для закріплення невеликих зразків застосовують металевий гвинтовий хомут-затискач (рис. 2.3 б) [20].

Шліфування проводять вручну або на верстаті з горизонтально розташованим обертальним колом, на якому закріплюють лист шліфувального паперу (рис. 2.3) [20].



Рисунок 2.3 – Шліфувально-полірувальний верстат МР-2В [20]

Якість травлення перевіряють під мікроскопом при тому збільшенні, що і контроль різку. Якщо поверхня шліфу, що видно під мікроскопом, дуже яскрава, а структура нечітко виражена, шліф не протруєний. Потім відбувається перетравлення. Якщо поверхня помелу темна, а межі структурних компонентів широкі та темні, то помел перетравлюється. Після цього його необхідно повторно

відполірувати ретравкою. Після травлення препарати промивають проточною водою зі спиртом та просушують фільтрувальним папером [22].

Виявлення мікроструктури. Виявлення мікроструктури в більшості випадків зводиться до створення на полірованій поверхні неглибокого рельєфу, в якому конфігурація нерівностей повторює розташування і контури окремих кристалітів. Іноді такий рельєф створюється при поліруванні зразка. Наприклад, на поверхні шліфа, що полірується механічним методом, тверді кристаліти дещо виступають, а м'які – заглиблені. У решті випадків рельєф створюють за допомогою протравлювання – короткочасної дії реактиву. Травник і тривалість протравлювання підбирають, використовуючи довідникові дані або дослідним шляхом. Підготовлений для мікроскопічного аналізу зразок називається мікрошліфом [20].

Протравлювання мікрошліфів дозволяє виявити дві важливі особливості мікроструктури металів і сплавів [20]:

- полікристалічну, зеренну будову (розмір, форма, розподіл зерен);
- структурні складові сплавів [20].

Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі МИМ-7 (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Металографічний мікроскоп МІМ-7 (фото) [23]

Металографічний мікроскоп дозволяє спостерігати непрозорі об'єкти у відбитому світлі. У цьому вся основна відмінність від біологічної мікроскопії [22].

#### **2.4.Методи визначення твердості**

В роботі було проведено випробування на визначення твердості сталі 14X17H2.

Для визначення механічних властивостей зразків сталі 14X17H2 використовую наступні методи:

– статичні, коли навантаження зростає повільно і плавно;

– динамічні, коли навантаження зростає з великою швидкістю [24].

Ми розглянемо статичні.

Процес шліфування та необхідне обладнання були детально розглянуті у пункті 2.3.

Контролюється твердість в стані поставки і твердість після відповідної термічної обробки. Для контролю твердості сталі в стані поставки для металопродукції діаметром або товщиною до 30 мм відбирають два прутка від 1 т., але не менше восьми прутків від партії; для металопродукції діаметром або товщиною понад 30 мм - 15% прутків від партії, але не менше п'яти штук від партії [24].

Вимірювання твердості по Брінеллю. При визначенні твердості методом Брінелля в випробуваний зразок або виріб вдавлюється протягом певного часу металева кулька. Після зняття навантаження на поверхні зразка залишається сферичний відбиток. Величина відбитка залежить від твердості металу: чим твердіше метал, тим менше буде величина відбитка. Число твердості по Брінеллю позначається НВ (рис. 2.5) [24].



Рисунок 2.5 – Прилад ТШ-2М (фото) [25]

Визначення твердості загартованих сталей та інших матеріалів, які мають високу твердість  $>450$  НВ проводять методом вдавлювання індентора методом Роквелла [24].

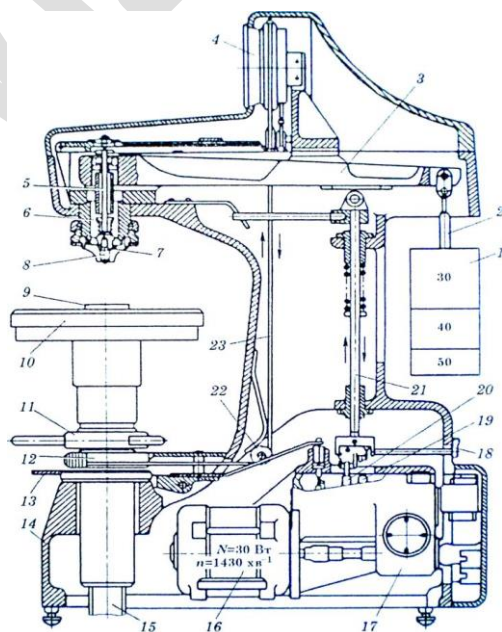
Твердість за Роквеллом виражають в умовних одиницях, що характеризують глибину залишкового занурення наконечника (ГОСТ 9013-59). За одиницю твердості прийнята величина, відповідна осьовому переміщенню наконечника на 0,002 мм. Залежно від твердості випробовуваного матеріалу застосовують два типи наконечників: сталеву кульку діаметром  $1,588 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$  для вимірювання твердості при сумарному навантаженні 100 кгс (1000 Н) – шкала В, або алмазний конус із кутом біля вершини  $120^\circ \pm 30'$  і радіусом закруглення біля вершини конуса  $0,200 \pm 0,005 \text{ мм}$  для вимірювання твердості металів при сумарному навантаженні 150 кгс (1500 Н) – шкала С і 60 кгс (600 Н) – шкала А [24].

Товщина зразка повинна бути не менше десятиразової глибини відбитка [24].

Для визначення твердості за Роквеллом застосовують прилад типу ТК-2 (рис. 2.6).



А



Б

Рисунок 2.6 – Прилад ТК-2: фото (а), механічна схема (б) [26]

Позначення твердості записують так: 35 HRB — випробування кулькою; 42 HRC — випробування конусом із твердого сплаву; 84 HRA — випробування алмазним конусом.

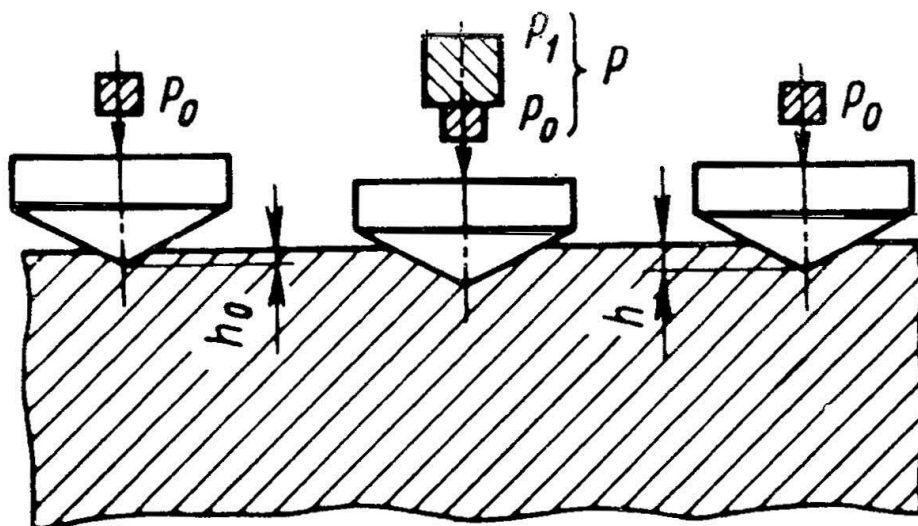


Рисунок 2.7 – Схема визначення твердості за методом Роквелла [27]

Вимірювання товщини дифузійних шарів та їх мікротвердості проводили на приладі ПМТ – 3 (рис. 2.8) не менш, ніж в 10 - 15 полях зору. За товщину захисного шару приймали товщину білого шару, що не травиться 3-% розчином азотної кислоти в етиловому спирті.





Рисунок 2.8 – Мікротвердомір ПМТ-3 [26]

Товщину перехідної зони оцінювали як товщину шару, мікротвердість якого відрізняється від мікротвердості основної структури оброблювального сплаву.

### **2.5.Визначення стійкості до міжкристалітної корозії**

Основною вимогою для виробів з нержавіючої сталі, які працюють в агресивних умовах, є стійкість до міжкристалітної корозії (МКК).

Міжкристалітна корозія – руйнування металів по межах зерен (кристалів), при цьому зовнішній вигляд деталі не змінюється. Цей вид корозії є більш небезпечним, ніж точкова корозія. До неї схильні хромвмісні сталі, купрумалюмінієві сплави та ін. Міжкристалітна корозії може бути обумовлена рекристалізацією сплаву, утворенням в нім нової фази: нових зерен і кристалів, що утворюють між собою гальванічні пари [28].

В даній роботі стійкість до МКК визначали за методом АМУ по ГОСТ 6032 [29].

Травлення відбувалось при кип'яченні в розчині сірної кислоти, мідному купоросу ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Щільність сірної кислоти за ГОСТ 4204 становить  $1,83 \text{ г/см}^3$ . По ГОСТ 19347-2014 взяли мідний купороз, мідна стружка по ГОСТ 859-78.



Рисунок 2.9 – Реактиви для проведення визначення стійкості методом АМУ

Травлення проводилось протягом 8 годин.

Метод АМУ є одним з найпоширеніших хімічних методів випробувань на стійкість до МКК. Дослідження полягає у зануренні зразка сталі у кип'ячий водяний розчин мідного купоросу та сірчатої кислоти у присутності металевої міді: дроту або стружки [30].

Готують випробуваний розчин у наступному порядку: до  $(1000 \pm 3)$  см<sup>3</sup> води додають  $(50 \pm 0,1)$  г мідного купоросу та порціями додають  $(250 \pm 3)$  см<sup>3</sup> сірчаної кислоти [31].

Випробування проводять у скляній колбі, забезпеченій зворотним холодильником (рис. 2.10). На дно реакційної судини насипають шар мідної стружки, куди завантажують зразок. Кількість стружки має забезпечувати повний контакт стружки із зразком та відсутність контакту між зразками. Ви можете обернути зразок мідним дротом. Об'єм досліджуваного розчину має становити 4-8 см<sup>3</sup> на см<sup>2</sup> поверхні зразка [31].

Рівень розчину повинен бути не менше ніж на 1,0-1,5 см вище поверхні зразка та шару стружки (дроту). Реакційну посудину, що містить розчин і випробуваний зразок, постійно нагрівають і кип'ятять, щоб холодильник не нагрівався [31].

Час витримки в киплячому розчині становить  $(8 \pm 0,25)$  годин, після чого промивають зразок водою і сушать [31].

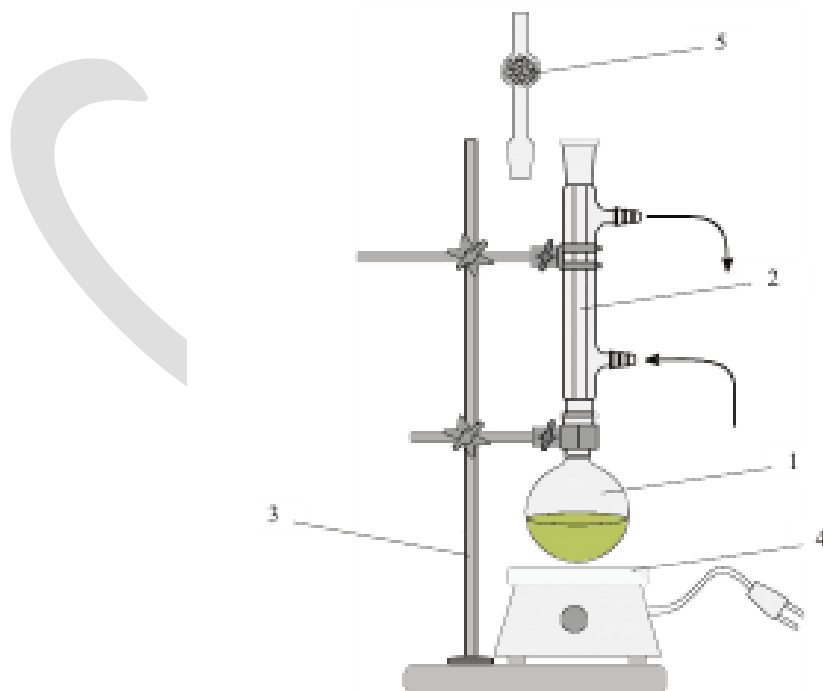


Рисунок 2.10 – Установка для проведення випробувань сталі 14X17H2 на

стійкість до МКК (колба с зворотнім холодильником): 1 — колба з зразками та розчином; 2 — зворотній холодильник; 3 — штатив лабораторний; 4 — електронагрівач [31].

### **Висновки**

В даній роботі запропоновано проаналізувати сучасну термічну обробку нержавіючої сталі 14X17H2. Запропонована технологія обробки складається з попередньої термічної обробки, азотування, цементації та кінцевої термічної обробки.

На першому етапі планується провести металографічний аналіз структури сталі 14X17H2 після термічної та хіміко-термічної обробки. При цьому буде використаний мікроскоп МИМ-7.

На другому етапі планується визначити показники твердості та мікротвердості після кожної операції термічної та вдосконаленої хіміко-термічної обробки на обладнанні ТШ-2М, ТК-2, ПМТ-3.

Заключним етапом даної роботи буде визначення стійкості сталі 14X17H2 до міжкристалітної корозії за методом АМУ по ГОСТ 6032, використовуючи установку з колбою та зворотнім холодильником.

Проведений вибір сучасного обладнання, що дасть можливість отримати якісні результати.

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1. Визначення структурного класу та призначення режиму термічної обробки сталі 14X17H2.

Бажані результати властивостей та характеристик термооброблених сталей будуть залежати від правильного вибору режиму термічної обробки, яка в свою чергу буде залежати від коректного визначення структурного класу сталі 14X17H2. Для його встановлення використовую діаграму Шеффлера (рис.3.1) [33].

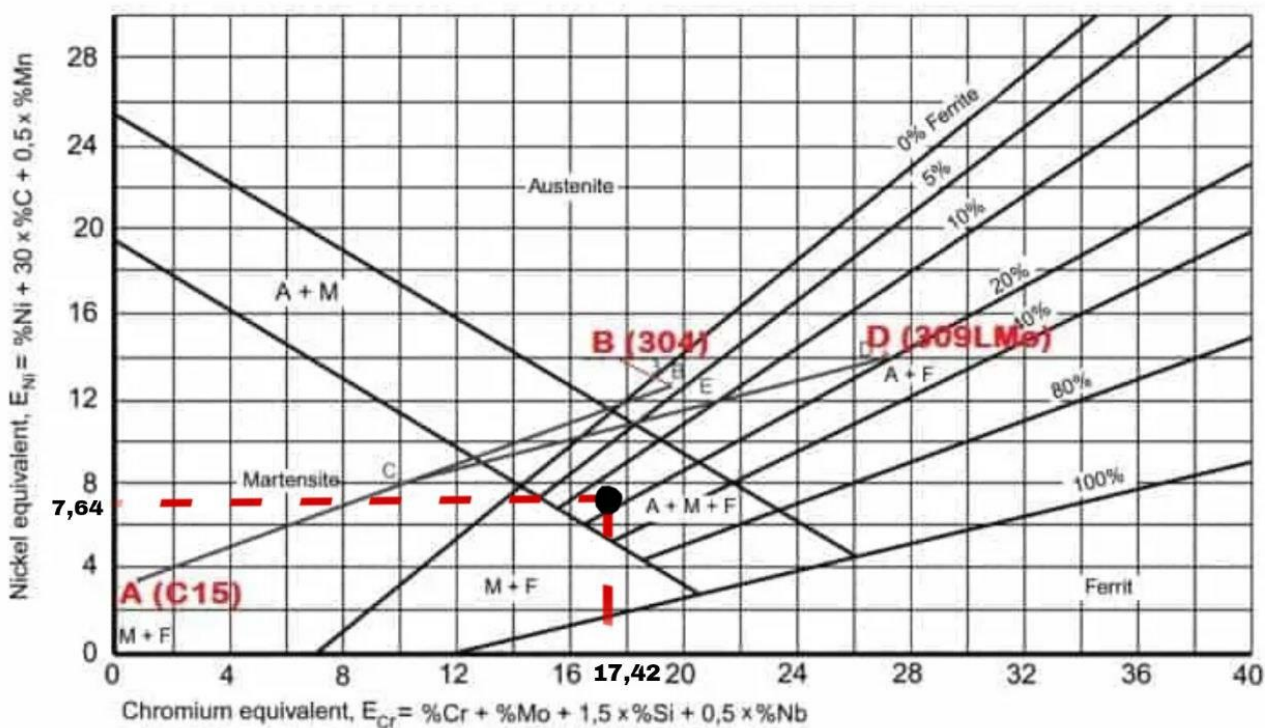


Рисунок 3.1 – Структура сталі 14X17H2 за діаграмою Шеффлера [33]

Еквівалент хрому (горизонтальна лінія) розраховується з масових відсотків феритоутворюючих елементів (Cr, Si, Mo, Nb, W), а еквівалент нікелю

(вертикальна лінія) розраховується з наступних масових відсотків: аустенітоутворювальні елементи (C, Ni, Mn, Cu) [33].

Позиції на діаграмі Шеффлера, що визначаються еквівалентами Cr і Ni, вказують пропорції мартенситу, аустеніту та фериту в результуючій мікроструктурі [33].

Група еквівалентів нікелю (Ni-Eq) включає елементи Ni з C та Mn. Еквівалент хрому (Cr-Eq) включає елементи Cr, Mo, Si та Cb. Щоб оцінити мікроструктуру відкладень, було розраховано еквіваленти Cr і Ni, використовуючи такі рівняння [33]:

- Еквівалентна формула Cr = (% Cr) + 2 (% Si) + 1,25 (% Mo) + 5 (% V) + 1,75 (% Nb) + 0,75 (% W) + 1,5 (% Ti) = 16,25 + 2 × 0,41 + 1,5 × 0,08 + 5 × 0,03 + 0,75 × 0,02 + 1,5 × 0,04 = 17,42 (3.1)

- Формула перетворення Ni = (% Ni) + (% Co) + 0,5 (% Mn) + 0,3 (% Cu) + 30 (% C) + 25 (% N) = 2,46 + 0,5 × 0,67 + 0,3 × 0,14 + 30 × 0,16 = 7,637 (3.2)

Виходячи зі значень Ni<sub>E</sub> і Cr<sub>E</sub> – фериту. (3.3)

$$\Phi = 1,05Cr_E + Ni_E -$$

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

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

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 [32].

Малий розмір міжвузлових пор у кристалічній ґратці ОЦК є причиною низької розчинності вуглецю – 0,025%. Більшу частку атомів займають вакансії, дислокації та ін., що є дефектами. Гранична концентрація вуглецю  $\delta$ -фериту  $\approx$  0,1% [32].

Властивості фериту близькі до властивостей заліза [32].

Таким чином, це м'яка фаза з відносно низькою твердістю Брінеллю,  $HB = 80-130$  при кімнатній температурі. Виготовлений із пластику, має межу міцності  $\sigma_v = 300$  МПа та відносне подовження  $\delta - 30\%$ , магнітний до  $768^\circ\text{C}$  [32].

$\delta$ -ферит також негативно впливає на механічні властивості.  $\delta$ -ферит у вигляді білих протяжних включень.  $\delta$ -ферит, що утворився при високій температурі, закріплювали швидким охолодженням, так як він не встигав повністю пройти ферито-аустенітне перетворення. Аустеніт частково перетворився на мартенсит, залишивши дельта-ферит, який став видно за кімнатної температури [32].

### **3.2.Результати металографічного аналізу сталі 14X17H2 після комплексної ТО**

Суть даної роботи полягає в розробці сучасної хіміко-термічної обробки сталі 14X17H2.

Сталь 14X17H2, як вже було зазначено на передодні, відноситься до перехідного структурного класу, яка складається: аустеніту, мартенситу, фериту. Зазвичай основною вимогою до виробів, які виготовляють з даної сталі, крім корозійної стійкості, є висока твердість та зносостійкість. В більшості випадків для вуглецевих та низьколегованих сталей такого ж призначення такі вимоги досягаються карбонітрацією.

Карбонітрація – ефективна технологія поверхневого зміцнення деталей машин, різних прес-форм, пресового обладнання, ріжучого інструмента [34].

Технологія холодного поверхневого зміцнення (карбонітрування) деталей розплавленими солями екологічно безпечна та стрімко набирає популярності у всьому світі, але зі зрозумілих причин забута в Україні, де послуги карбонітрації пропонує значну кількість компаній. У той самий час важко переоцінити користь, що він дає. Це значно покращує експлуатаційні характеристики виробу, а у ряді випадків дозволяє заощадити кошти за рахунок використання більш дешевих марок сплавів на основі заліза [35]. Застосовуване замість газового азотування дозволяє у кілька разів скоротити час циклу обробки та покращити експлуатаційні властивості армованих деталей [34].

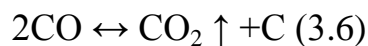
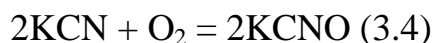
Даний винахід відноситься до галузі металургії, зокрема отримання захисних і зміцнювальних покриттів для сталевих виробів методами хіміко-термічної обробки, які можуть бути використані в промисловому виробництві при серійному випуску виробів автомобільної, авіаційної промисловості. Суднобудуванні та верстатобудуванні, виробництві сільськогосподарських знарядь та агрегатів та ін., а також при виконанні складних лабораторних досліджень [35].

Рідка карбонізація підвищує зносостійкість та міцність у 2,5-3 рази. Використання цієї технології замість газового азотування дозволяє скоротити час обробки та покращити властивості оброблюваних деталей [34,36]. Технологія карбонітрації часто замінює такі процеси, як поверхневе гартування, гальванопокриття, науглецування та нітроцементация [35].

Суть карбонітрації полягає в тому, що продукт занурюють у розчин розплавлених солей (ціанату та карбонату калію) при температурі від 560 до 600°C. Тривалість методики залежить від планованої товщини захисного покриття, яке має бути досягнуто [36-37]. Чистий ціанат використовується як вихідний матеріал для приготування активного розплаву. Встановлено, що ціанат калію з температурою плавлення 320°C краще ніж ціанат натрію, проводить процес карбонізації при 540-570°C [38].



При карбонітрації протікають реакції окиснення [34]:



У вуглекислій ванні відбуваються такі хімічні реакції [34]:

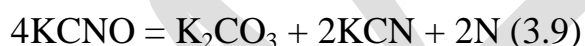


Також

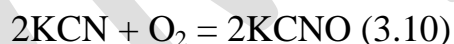


Далі йде реакція розкладання ціанату калію KCNO за рівнянням 3.5 [34].

Реакція також припускає утворення невеликої кількості токсичного ціаніду [34].



Для окислення ціаніду до ціанату в карбонатній ванні повітря розбавляють і реакція протікає за рівнянням 7 [34].



В результаті постійних реакцій поступово накопичується калій  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , знижуючи вміст калію, вміст активної солі KCNO – ціанату калію. У ванну періодично додають речовини  $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$  - меламін, або  $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_5$  - мелем для регенерації або: При цьому відсотковий вміст ціанату калію KCNO у ванні знижується до 85-95% [34]

Карбонітрація нержавіючих сталей не є актуальною по причині формування специфічних характеристик поверхні сталі, через який насичення не відбувається. Сталі з високим вмістом хрому вимагають спеціальної обробки для видалення оксидної плівки, щоб запобігти насиченню поверхневого шару.

Відомо, що аустенітні сталі менш схильні до азотування, ніж феритні [10]. Крім того, ступінь легування сталі впливає на результат процесу азотування: чим більше вміст легуючих елементів, тим складніший процес дифузії азоту. Феритні та аустенітні сталі з високим вмістом хрому азотують при 560-600°C для отримання зносостійкого шару. Зменшення вмісту вуглецю у феритних та аустенітних сталях збільшує глибину нітридного шару [10]. Тому у роботі пропонується альтернативний варіант підвищення механічних властивостей сталі 14X17H2 – попереднє азотування та цементація. Запропонований варіант є більш складний, але в той же час і більш ефективний.

Перед азотуванням рекомендовано виконати термічну обробку, яка складається з наступних операцій:

1. Відпал.
2. Гартування.
3. Відпуск.

Відпал – це термічна обробка, що складається в принципі з нагрівання вище критичної температури, витримки та охолодження разом із піччю, щоб отримати більш збалансовану структуру [39].

Гартування — це процес термічної обробки, при якому нагрівають сталь до певної температури, витримують, а потім швидко охолоджують для отримання незбалансованої структури [39].

Гартування призводить до підвищення міцності та твердості та зниження пластичності сталі. Основними параметрами при загартуванні є температура нагрівання та швидкість охолодження [39].

Відпуск – це остаточна термічна обробка, яка відбувається після загартування, інколи ж і після нормалізації [39].

Відпуск полягає в нагріванні до температури нижче критичної  $A_{c1}$ , витримці при цій температурі та охолодженні, як правило, на повітрі [39].

Мета відпуску [39]:

- Усуває або зменшує внутрішню напругу після затвердіння.
- Отримує потрібний набір властивостей.

Температура нагрівання при відпуску залежить від того, які властивості має придбати конкретний виріб.

Відпуск буває трьох видів:

- низький ( $t=150 \times 200^\circ\text{C}$ );
- середній ( $t=300 \times 450^\circ\text{C}$ );
- високий ( $t=500 \times 650^\circ\text{C}$ ).

Попередня термічна обробка виконується для підготовки поверхні пиробу до азотування. Її режим зображений на рисунку 3.2:

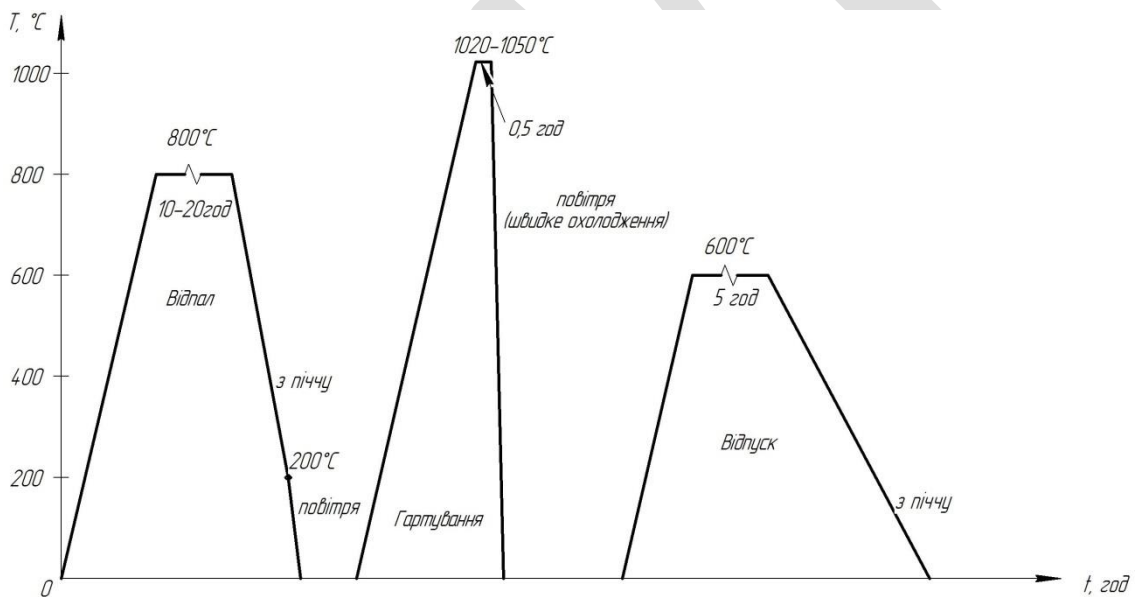


Рисунок 3.2 – Попередня термічна обробка сталі 14X17H2

Наступним етапом термічної обробки нержавіючої сталі 14X17H2 буде азотування. В нашій роботі рідинне азотування виступає у якості операції, яка забезпечує насичення поверхні сталі азотом, який при подальшій цементації буде використаний для формування високотвердих, зносостійких карбонітрідів. Для азотування застосовуємо солі, що містять ціаністу групу «CN», а саме ціаністий

калій КСН. Процес обробки проходив при температурі 550°C, протягом 2 годин (рисунок 3.3).

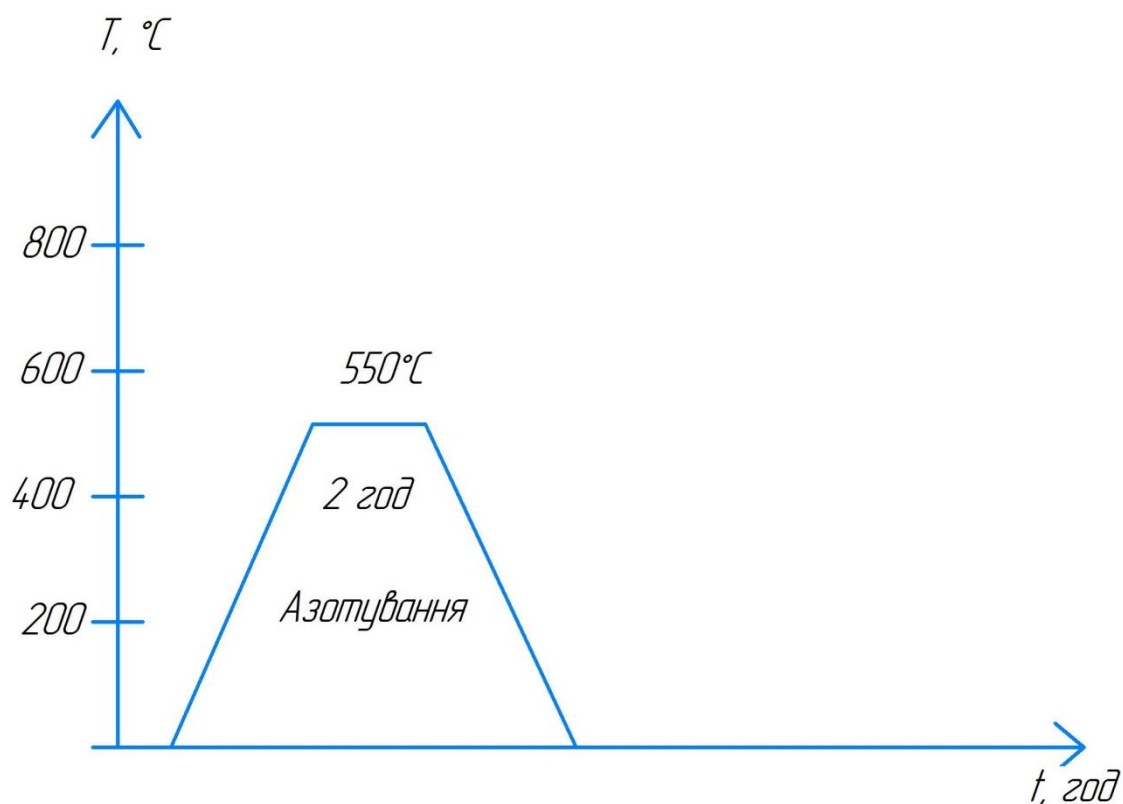


Рисунок 3.3 – Азотування сталі 14X17H2

В результаті азотування утворився шар з карбонітридом  $(\text{Fe}, \text{Me})_{2-3}(\text{N}, \text{C})$ , товщина якого 7-25 мкм. За виміром своєї товщини покриття сталі 14X17H2

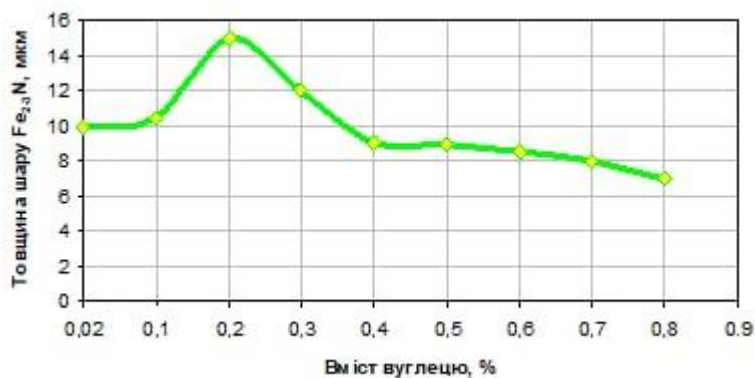


Рисунок 3.4 – Залежність товщини шару  $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$  від вмісту вуглецю основи сталі

після азотування

Отримана структура зображена на рисунку 3.5



Рисунок 3.5 – Структура сталі 14X17H2 після азотування

Металографічний аналіз сталі 14X17H2 після азотування говорить про формування захисного багатшарового покриття, зовні формується пористий шар  $Fe_{2-3}(N,C)$  товщиною 7-10 мкм. Під зовнішнім нітридним шаром сформувався суцільний тонкий шар нітриду заліза  $Fe_4N$ , товщиною 2-3 мкм. Під двошаровим нітридним покриттям в структурі сталі 14X17H2 формується дифузійна перехідна зона, товщиною 5 мкм, яку в металографічній структурі можна легко ідентифікувати за темним кольором. Враховуючи те, що сталь містить 17% хрому, в результаті азотування, крім нітридів заліза в основі спостерігаємо форморування нітридів  $Cr_2N$  у вигляді маленьких окремих прямокутних включень білого кольору.

Наступним етапом після азотування була цементація.

Так як ми пропонуємо більш складну обробку зі збільшенням кількості етапів, для економії часу обираємо високотемпературну вакуумну цементацію, час проведення якої – 30 хвилин.

Дана цементація проводиться у вакуумі у топці.

Подаємо метан під тиском 15-35кПа, 30 хвилин насичуємо аустеніт вуглецем при температурі 1000-1050°C.

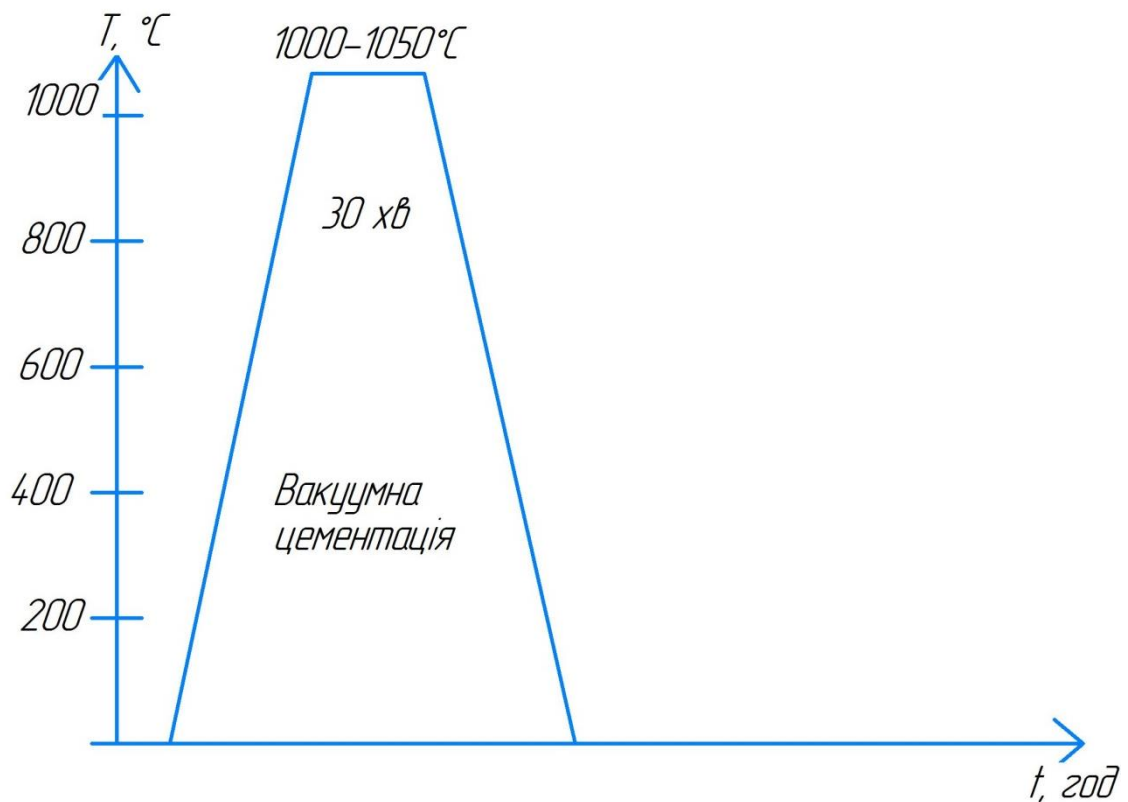


Рисунок 3.6 – Цементация сталі 14X17H2

Утворюється карбонітрид хрому  $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8} \text{N}_{0,2})_2$ , FeCN на поверхні,  $(\text{Fe,Cr})_2\text{-}_3(\text{C,N})$

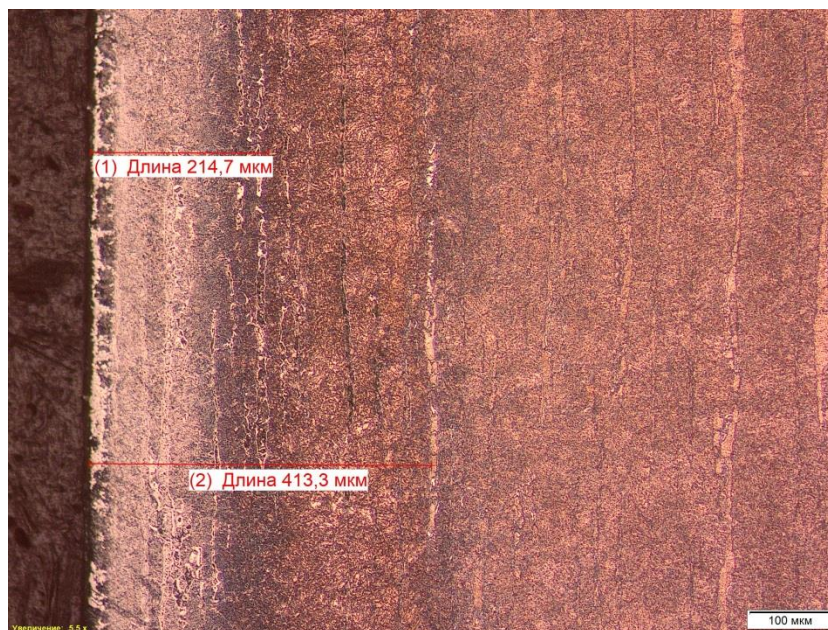


Рисунок 3.7 – Структура сталі 14X17N2 після азотування та цементації

Глибина шару з підвищенням температури та часом збільшується, а вміст вуглецю на поверхні зменшується до заданого. Завдяки проведенню цементації у вакуумі не відбувається внутрішнє окислення і зовнішній вид деталі залишається глянсовим.

Процес цементації завжди відбувається з подальшою термічною обробкою. При 1000°C виконується гартування, після чого сталь відпускають при 200°C.

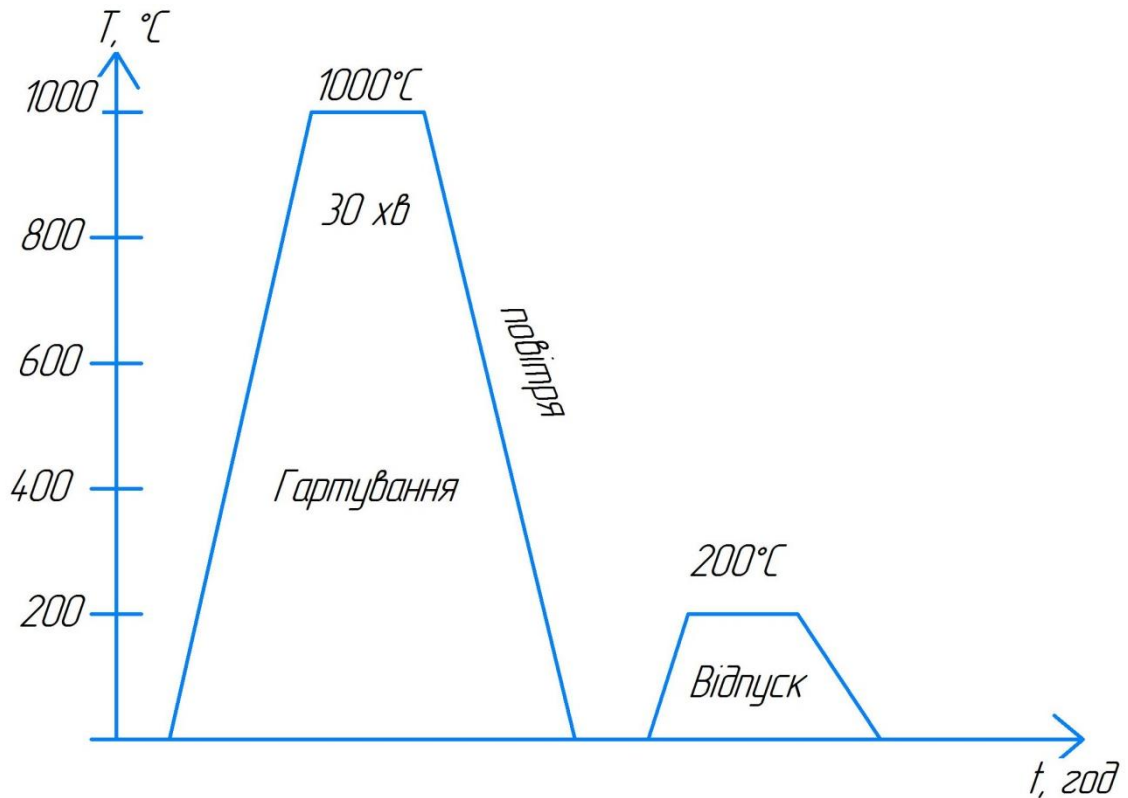


Рисунок 3.8 – Остаточна термічна обробка сталі 14X17H2

### 3.3.Визначення твердості.

В даній роботі твердість сталі 14X17H2 визначалася після кожної операції термічної та хіміко-термічної обробки. Так після відпалу твердість визначалася методом Брінеля. За результатами випробування встановлений показник – 255НВ

Після повної попередньої термічної обробки твердість сталі 14X17H2 за Роквелом становить 27,5-28 HRC

Твердість після азотування у різних шарах має такі значення:  $Fe_{2-3}N$  – 6-8 Гпа,  $Fe_4N$  – 12-14 ГПа.

Після цементації утворюється карбонітридний шар хрому – CrCN - 10-20 мкм, під ним розташований непротравлений білий шар карбонітриду заліза з окремими включеннями нітриду хрому – 75-100 мкм. Значення твердості шару 17-19 Гпа.



Як видно з результатів дослідження зразків, методи термічної обробки які включають попереднє азотування, а після цементацію підвищують твердість сталі 14X17H2.

Зі збільшенням вуглецю в основі, мікротвердість карбонітридного слою параболічно буде збільшуватися. Карбідонітридний образуючий елемент буде збільшуватись, так буде збільшуватися і твердість самої поверхні (рисунок 3.9).

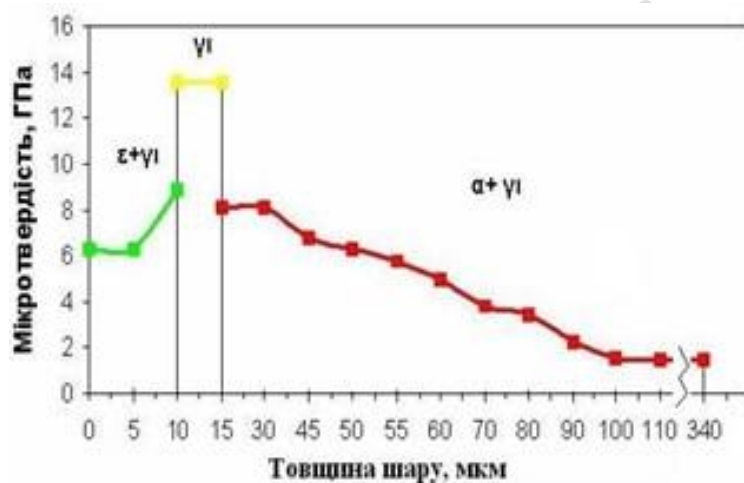


Рисунок 3.9 - Мікротвердість азотованого покриття

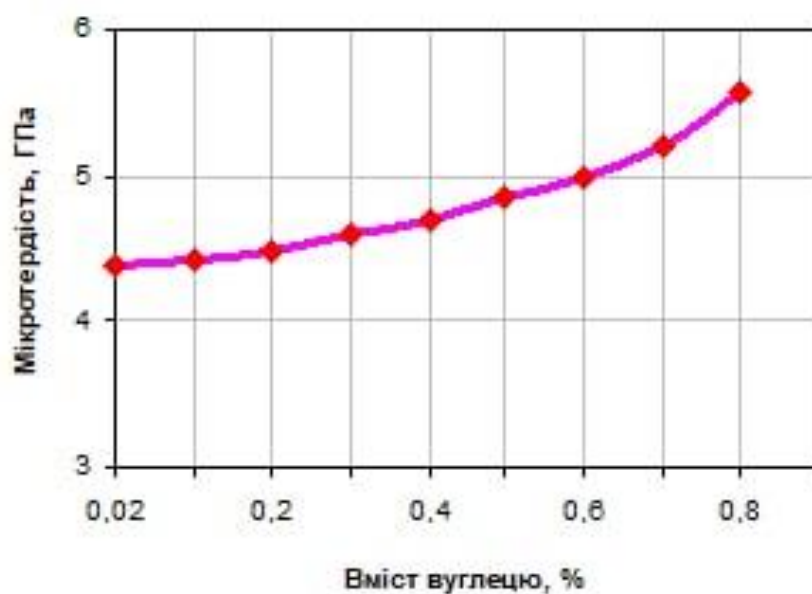


Рисунок 3.10 – Залежність поверхневої мікротвердості сталі після азотування від вмісту вуглецю основи

Аналізуючи залежність мікротвердості від вуглецю, можна дійти до таких висновків: чим більше вуглецю при насиченні поверхні, тим більша твердість.

### 3.4.Визначення стійкості до міжкристалітної корозії.

Умови, за яких протікає міжкристалітна корозія (МКК) у високолегованих сталях, таких структурних класів, як мартенситно-феритні, є різними. Однак його зовнішній вигляд залишається практично незмінним, загальна корозійна стійкість досить висока, а той факт, що переважно розчиняються межі зерен металу, над якими з'являються нові фази або виділення, що відрізняються за складом від хімічного, у мене є. із сталі.

Причиною МКК найчастіше є неправильна термічна обробка або технічні операції (зварювання, згинання, штампування) у критичному діапазоні температур.

Крім того, МКК може виникнути при тривалій експлуатації обладнання за високих температур і при виборі невідповідного класу сталі або сплаву конструкції для певних агресивних середовищ.

Найбільш правильним методом є тестування в реальному середовищі для виявлення сприйнятливості до МКК, але це практично неможливо через різні агресивні середовища та необхідні тривалі випробування.

Для швидкої оцінки сприйнятливості сталей до МКК розробили ряд контрольних розчинів з різними потенціалами. Основним методом контролю сприйнятливості сталей до МКК за ГОСТ 6032-84 є випробування в киплячому розчині мідного купоросу з добавками міді (методи АМ і АМУ).

МКК можна запобігти термічній обробці (відпустки). Це повністю розчиняє карбід хрому, або зменшує сегрегацію домішок на межах зерен. Для більшості сталей зазвичай застосовують загартований режим нагріву до 1020-1060 ° С з наступним загартуванням (в маслі, воді або повітрі). При подальшому нагріванні не відбувається небезпечної освіти граничних карбідів та відсутня МКК.



Рисунок 3.11 – Зразки сталі 14X17H2 до та після дослідження стійкості до МКК

Запропонований процес обробки можна рекомендувати для використання в якості корозійностійкого покриття. Випробування зразків зі сталі 14X17H2 на стійкість до МКК підтвердили це.

## Висновки

Першим етапом проведених досліджень було визначення структурного класу сталі 14X17H2. За допомогою діаграми Шеффлера розраховано та встановлено, що сталь 14X17H2 відноситься до структурного класу переходу аустеніт-мартенсит-ферит. Кількість фериту становить 7,22%.

Наступним етапом проводилась комплексна термічна та хіміко-термічна обробка. Послідовність процесу обробки була так – попередня термічна обробка: відпал, гартування, відпуск; азотування; вакуумна цементація; остаточна термічна обробка: гартування відпуск.

Попередній відпуск виконували 12 годин при температурі 800°C, гартування – 30 хвилин при 1020-1050°C, відпуск – 5 годин при 600°C. Після даної підготовки провели рідинне азотування у ціанистому калії KCN при 550°C, 2 години. Для скорочення тривалості термічної та хіміко-термічної обробки обрали швидку вакуумну цементацію, яка проходила при температурі 1000-1050°C 30 хвилин з подальшими гартуванням при 1000°C, 30 хвилин та відпуском при 200°C.

При виборі відповідного режиму ми спиралися дані, отримані з діаграм Шеффлера і металографічного аналізу. Властивості, що демонструють корисність цієї схеми термообробки, були стійкість сталі до мікрокристалічної корозії, твердість, межа плинності, межа міцності та інші механічні властивості.

По закінченню термічної обробки отримали бажаний результат при дослідженні твердості та стійкості до МКК. Твердість після азотування у різних шарах 6-14 Гпа. Твердість після повної комплексної термічної та хіміко-термічної обробки HV 900. Випробування на стійкість зразки пройшли в киплячому розчині мідного купоросу з добавками міді – за методом АМУ.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1. Теоретична частина

Ринкова ціна комерційної розробки визначається з урахуванням маркетингових досліджень, але розрахунки на основі витрат на розробку є першорядним [40].

Підрахунок вартості науково-дослідницької діяльності виконується враховуючи наступні статті витрат [40]:

#### 1. Матеріали

«Вартість матеріалів» розраховується на основі даних про використання матеріалів, ціни матеріалів, обсяг і ціну зворотних відходів. Розбивка витрат у цій статті включає кількість матеріалів та інформацію про закупівельну ціну. У цьому витрати підтверджуються договорами про постачання матеріалів, рахунками-фактурами та іншими фінансовими документами [41].

Якщо він уже є у виконавця, він оцінюватиметься за ринковою ціною на час використання. Витрата матеріалу підтверджується специфікацією на матеріали [41].

З використанням скоригованої моделі ціноутворення матеріальні витрати розраховуються з урахуванням фактичних документально підтверджених витрат виконавця. В іншому випадку для обліку подорожчання матеріалів у договорі може бути пункт про те, що східнонімецький замовник придбає матеріали та передасть їх виконавцю для виконання робіт (матеріал замовника). Це дозволяє клієнтам контролювати ціну і якість матеріалів, що закуповуються [42].

Такі системи також використовуються, коли замовнику потрібні рідкісні та специфічні матеріали для виконання науково-дослідних робіт, пов'язаних із виробником, а не з виконавцем [42].

## **2. Спеціальне обладнання для наукових (експериментальних) робіт**

Спеціальні відносяться до приладів та вимірювальних приладів, спеціально придбаних або створених для даної дослідницької роботи. Після виконання робіт за рахунок купівлі спецтехніки ви зможете [40]:

- передати замовнику.
- нести відповідальність перед підрядником за виконання іншої роботи, що фінансується тим самим замовником (у цьому випадку її ціна вже не включається до вартості наступних замовлень) [40].
- передати виконавцю за залишковою вартістю (за згодою останньої) [40];

## **3. Експлуатація машин та механізмів**

Витрати розраховуються виходячи з кількості годин, необхідних для машинної/механічної роботи, та ціни однієї машинної години. У багатьох випадках такі витрати не виділяються до окремої статті витрат, а вважаються частиною інших статей [40,42].

- оплата праці обслуговуючого персоналу, доплати та відрахування з компенсаційного фонду – у складі відповідних статей котирування;

Витрати на утримання, експлуатацію, поточний ремонт машинного парку, його амортизацію, енергопостачання, придбання паливно-мастильних матеріалів у складі накладних витрат [40,42].

## **4. Оплата праці**

Витрати на оплату праці виробничих робітників та інженерно-технічних працівників (ІТП) розраховуються виходячи з трудомісткості робіт [43].

Якщо відома точна необхідна чисельність та кваліфікація кожного працівника і немає розбіжностей між сторонами, то витрати на оплату праці ґрунтуватимуться на кількості задіяних працівників, їх тарифній категорії та коефіцієнті надбавки, нормативній кількості годин. за прямим розрахунком [43].

## **5. Преміальна заробітна плата**

До поняття «додаткова заробітна плата» входять виплати працівникам підприємства, не обумовлені безпосереднім виконанням трудових обов'язків (відпустки, премії за вислугу років, виплати за результатами року, допомоги у зв'язку з вагітністю та пологами, виплати). додаткова відпустка працівникам шкідливих виробництв, доплати працівникам віком до 18 років, надбавки за роботу у 2-у та 3-ю зміни та ін.) [40].

Витрати на доплату обчислюються виходячи з фонду оплати праці цієї науково-дослідної роботи та виходячи з доплати, встановленої в масштабах підприємства на підставі даних про розмір попередніх періодів [40].

## **6. Обов'язкові відрахування з фонду оплати праці**

Внески до державного страхового фонду сплачуються за встановленою законом ставкою у відсотках фонду оплати праці (як основного, і додаткового) [40].

## **7. Витрати на відрядження**

Витрати на відрядження включають добові для відряджених співробітників, транспортні витрати до місця відрядження і назад, а також витрати на проживання [40].

До кошторису контрактної ціни додається розбивка витрат на відрядження, що показує кількість поїздок, пунктів призначення та кількість співробітників, розміщених у кожному пункті призначення [40].

## **8. Накладні витрати**

До накладних витрат відносяться витрати, не пов'язані безпосередньо з виконанням конкретного дослідницького завдання, а є забезпеченням функціонування всього підприємства. Накладні витрати можуть містити [40].

- загальновиробничі витрати.
- загальноорганізаційні витрати.
- амортизаційні відрахування на повне відновлення основних засобів.

Накладні витрати розраховуються у відсотках від фонду оплати праці за цю науково-дослідну роботу [44].

При цьому розмір відсотків визначається, виходячи з даних попереднього періоду, у відсотках загальної суми накладних витрат за цей період, поділеної на загальну суму фонду оплати праці підприємства [44].

Ставка накладних витрат встановлюється однаково в організацію-виконавця певний період часу і поширюється попри всі науково-дослідні роботи [44].

Тому вартість науково-дослідних робіт складається з перерахованих видів витрат. При цьому статті витрат [42]:

- Матеріали,
- Спеціальне обладнання,
- Діючі машини та механізми,
- Роботи, виконані сторонньою компанією чи організацією;
- Витрати на відрядження ( якщо характер роботи не передбачає відповідних витрат, вони можуть не враховуватися в пропозиції).

У разі, якщо ціна договору сформульована у вигляді фіксованої ціни, за згодою сторін може бути запроваджено додаткову статтю витрат «непередбачені витрати» у відсотках від собівартості науково-дослідних робіт [42].



## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

### 5.1. Техніка безпеки при ТО

Незважаючи на модернізації, вдосконалення та зміни домінуючих видів людської діяльності, безпека людини та життєдіяльності була і залишається важливим аспектом та потребою людини [45].

При застосуванні термічної та хіміко-термічної обробки металів необхідно пам'ятати про вплив на працюючих небезпечних та шкідливих факторів виробництва, у тому числі [46].

- Незахищені рухливі елементи виробничого обладнання.
- Заготовки, готові вироби чи деталі.
- Мобільні автомобілі;
- Аерозоль (пил) фіброгенної дії;
- Неприятливий мікроклімат робочої зони;
- Підвищена температура поверхні обладнання та матеріалів;
- Зниження температури при холодній обробці деталей;
- небезпечні рівні напруги у електричних ланцюгах.
- Підвищений рівень електромагнітного випромінювання (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне, лазери, мікрохвилі, радіочастоти);
- Підвищена напруженість магнітного поля;
- Підвищений рівень шуму під час роботи;
- Знижене освітлення на робочому місці;
- Пожежонебезпечність та вибухонебезпечність;
- Загальнотоксичні, дратівливі та канцерогенні хімічні речовини для організму працюючих.
- Труднощі та напруженість роботи [47].

Ці фактори є дуже важливими, і їм слід приділити особливу увагу.

Особи, що у виробничому процесі, піддаються постійному ризику, особливо під час роботи з устаткуванням [47].

Шкідливі речовини (пил, пари металоорганічних сполук, отруйні речовини) потрапляють в організм людини через дихальні шляхи та шкіру та дратують очі, дихальні шляхи та слизові оболонки шкіри. В організмі людини пил провокує подразнення дихальних шляхів та призводить до виникнення деяких захворювань. Концентрація пилу та інших шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати значень, встановлених ГОСТ 12.1.003 [46].

Для досягнення регламентованого вмісту небезпечних речовин, необхідно використовувати повітряний дефлектор. Місцеві дефлектори слід розміщувати так, щоб витяжне повітря не проходило через зону дихання робітника. Вбудований аспіраційний пристрій можна використовувати як місцевий аспіраційний пристрій. Круглі ванни та шахтні печі рекомендується обладнати кільцевими сосками. Поєднання повітроводів витяжної системи від гарячої печі з витяжною системою від загартування маслобака та ванни не допускається (через можливе займання олії) [46].

Великий вплив на організм людини має мікроклімат приміщення.

Якщо говорити про повітряне середовище, то воно може бути сприятливе, несприятливе для роботи або небезпечне. Це залежить від властивостей середовища та хімічного складу. Середовище є сприятливим за умови досягнення у зоні роботи відповідної чистоти повітря і нормативних метеорологічних показників [45].

Категорія роботи - це поділ роботи, заснований на загальному витраті енергії тіла, що вимірюється в Дж/с.

Висвітлення у приміщенні дуже важливе. Недостатнє освітлення та погана якість освітлення призводять до нижчого вихідного рівня стану зорових функцій

людини, підвищення зорової втоми в процесі роботи, підвищення ризику виробничих травм [46].

Наслідком цього є тимчасове порушення зорових функцій ока з усіма витікаючими звідси негативними наслідками небажаними як для якості трудової діяльності, так і для самої людини [46].

Освітленість робочого місця термічного ділянки згідно СНіП 23-05 повинна бути рівна 200 лк, це значення забезпечується в результаті денного світла через бічні прорізи з коефіцієнтом природного освітлення від 1 до 1,5 % або, якщо цього недостатньо, внаслідок люмінесцентних ламп типу ЛОУ, ЛСП або ламп розжарювання типу УПД, УПМ - 15. Шкали приладів і датчиків повинні забезпечуватися додатковою підсвічуванням [46].

При обслуговуванні електроустановок (ванна соляна СВС) з напругою 380 В виникає небезпека ураження електричним струмом. Воно не повинно перевищувати значень, зазначених ГОСТ 12.1.006 [45].

Основні причини нещасних випадків від впливу електричного струму:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- поява напруги на металевих частинах верстатів в результаті пошкодження ізоляції.

Захист людей від ураження електричним струмом в умовах виробництва досягається наступним: наявністю ізоляції, огорож, розташований на недоступній висоті, блокуваннями, наявністю захисних заземлень і автоматичного відключення, пристроєм ізолюючих підлог, а також постійним інструктажем з техніки безпеки працівників [47].

Для запобігання нещасних випадків обладнання необхідно забезпечувати спеціальними огорожами, захисними і запобіжними пристроями.

У виробничому цеху для запобігання ураження електричним струмом передбачено захисне заземлення.

Для заземлення електроустановок різних призначень і напруг в більшості випадків роблять одне спільне заземлення, що забезпечує найменший опір [46].

За наявності заземлення внаслідок стікання струму на землю напруга дотику зменшується і, отже, струм, що проходить через людину, виявляється менше, ніж у незаземленої установці. Щоб напруга на заземленому корпусі обладнання була мінімальною, обмежують опір заземлення. Для електроустановок напругою до 1000 В при ізольованій нейтралі трансформатора, генератора опір захисного заземлення повинен бути не більше 4 Ом [47].

Для того щоб зменшити або виключити взагалі вплив небезпечних і шкідливих факторів на людину, необхідний цілий комплекс заходів з охорони праці [40].

Технологічні процеси термічної і хіміко-термічної обробки металів повинні передбачати:

- усунення безпосереднього контакту працівників з хімічними речовинами, матеріалами, деталями і відходами виробництва, що надають на них шкідливий вплив;
- заміну операцій, при яких виникають небезпечні і шкідливі виробничі фактори, на операції, де зазначені фактори відсутні або мають меншу інтенсивність;
- використання автоматизованих методів визначення концентрації речовин 1-го класу небезпеки в повітрі робочої зони;
- оптимальні режими роботи устаткування, що забезпечують безперервність технологічного процесу;
- раціональний ритм роботи людей, що виконують окремі технологічні операції;
- виключення можливості створення аварійних ситуацій;

- застосування комплексної механізації та автоматизації, дистанційного управління – контролю і регулювання параметрів технологічних процесів (температури, тиску в робочому просторі печі, вмісту компонентів у газовому середовищі і т.д.);
- використання блокувальних пристроїв (з метою виключення виникнення аварійних ситуацій) і засобів світлової та звукової сигналізації про порушення технологічного процесу;
- герметизацію устаткування, з якого можливе виділення шкідливих речовин;
- своєчасне видалення і знешкодження відходів виробництва, що є джерелами небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- дотримання встановленої періодичності чищення гартівних баків, ємностей і нагрівальних печей;
- механізацію ручної праці [40].

### **1. Вимоги до технологічного процесу при гартуванні**

Операції завантаження, вивантаження і транспортування деталей, що гартуються, як правило, повинні бути механізовані [48].

Гартівні масла в баках і ваннах періодично (при заливанні свіжої порції масла або після тривалої зупинки устаткування) повинні піддаватися контролю на вміст у них води, що викликає піноутворення, чим сприяє загорянню масла. Виявлена вода повинна бути видалена через спускні крани, установлені в нижній частині баків. Максимальний вміст води в гартівному маслі не повинен перевищувати 0,1% [48].

Обсяг масла в баку, у який занурюються при загартуванні і відгартуванні нагріті деталі, повинен у 4-6 разів перевищувати обсяг деталей, що завантажуються [48].

У процесі роботи необхідно візуально контролювати рівень масла в баку, щоб уникнути його викиду і загоряння (що можливо при відсутності пристрою автоматичного контролю рівня), а також стежити за справністю сигналізаторів перегріву масла і пристрою для аварійного зливання.

Для загартування необхідно застосовувати масло з температурою спалаху не нижче  $170^{\circ}\text{C}$  [46].

Максимальна робоча температура нагрівання масла при загартуванні не повинна перевищувати  $80^{\circ}\text{C}$ .

В окремих випадках і при ступеневому загартуванні повинні застосовуватися спеціальні масла з підвищеною температурою спалаху (вище  $300^{\circ}\text{C}$ ), що допускають термічну обробку деталей в маслі при температурі до  $180^{\circ}\text{C}$  [48].

Температура нагрівання масла повинна контролюватися періодично (візуально за термометром) або постійно (за допомогою автоматичних приладів).

Вантажопідйомні механізми, призначені для завантаження великих деталей у масляні гартівні ванни, повинні забезпечувати швидкість занурення не менше  $15\text{ м/хв}$ .

При загартуванні в маслі занурення деталей слід здійснювати на глибину не менше  $200\text{ мм}$  від поверхні, щоб уникнути перегріву і спалаху масла [46].

При загартуванні в гасі, температура гасу у ванні не повинна перевищувати  $38^{\circ}\text{C}$ . Гас повинний мати температуру спалаху пари не менше  $45^{\circ}\text{C}$ .

При використанні як гартівного середовища водних розчинів полімерів слід дотримувати вимог безпеки, викладених у нормативно-технічних актах на ці матеріали [48].

## **2. Заходи з охорони навколишнього середовища**

При проведенні процесів термічної і хіміко-термічної обробки повинні бути передбачені заходи захисту працюючих від можливого впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів по ГОСТ 12.0.003-74. Концентрації речовин, що володіють шкідливими властивостями, і рівні фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати значень, встановлених санітарними нормами [46].

У термічних цехах при нагріванні в контрольованих атмосферах, сушінні й деяких інших операціях в атмосферу виділяються шкідливі гази. Для зменшення забруднення атмосфери проводяться наступні заходи: застосування систем газоуловлення й газоочищення, заміна технологічних процесів з більшим газовиділенням на удосконалені [46].

Забруднення водою виробничими стічними водами, у які в термічних цехах потрапляють розчини кислот, лугів і солей, що застосовуються для травлення деталей; вода, яка використовується для гартування й промивання виробів, охолодження устаткування [46].

Для знешкодження стічних вод проводяться наступні заходи: стічні води повинні перед скиданням проходити різні методи очищення, що забезпечують концентрацію шкідливих речовин у воді не вище гранично допустимої; після обробки, відстоювання й фільтрування стічні води скидаються в побутову каналізацію [46].

Електротермічне устаткування є великим споживачем води, що витрачається на охолодження елементів печей і пристроїв. До неї пред'являються високі вимоги: для зменшення забору води із джерел і забезпечення її якості необхідно застосовувати системи оберненого водопостачання [46].

Вся електроенергія, споживана печами, перетворюється в тепло й розсіюється в біосфері у вигляді втрат або при охолодженні нагрітих деталей, тобто відбувається виділення тепла в біосферу. Чим потужніші електропечі, тим істотніше впливає цей фактор [46].

Для зменшення марного розсіювання тепла доцільні поліпшення теплоізоляції й скорочення всіх видів втрат, використання тепла газів, що відходять, і охолоджувальної води для технологічних або комунальних цілей.

### **Висновки**

В ході виконання роботи були запропоновані правила поведінки та техніка безпеки для робітників які працюють в термічних цехах. Проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві.

Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень, технологічних матеріалів, розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва.

Для забезпечення працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт необхідне застосування засобів індивідуального захисту.

Основними засобами індивідуального захисту при процесах термічної обробки є: спеціальне взуття, спеціальний одяг, окуляри, респіратори.

Адміністрація зобов'язана забезпечувати збереження, прання, сушіння, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію і ремонт виданих працівникам спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.



## ВИСНОВКИ

Під час опрацювання наукової тематики були проаналізовані інформаційні ресурси. Встановлена сутність процесів термічної та хіміко-термічної обробки та мета і сфери її застосування. Розглянуто різновиди процесів хіміко-термічної обробки. Проаналізовані методи підвищення механічних властивостей нержавіючих сталей, а саме твердості, зносостійкості та корозійної стійкості. До таких методів відносять: легування елементами; нанесення захисних покриттів; зміна структури металу термічною обробкою.

Суть роботи була досягнута за рахунок отримання інформації про структуру та властивості нержавіючої сталі 14X17H2 і їх зв'язок з технологічними параметрами рекомендованої термічної обробки. Саме цей результат надав можливість визначити етапи термічної обробки і їх температурно-часові параметри.

Користуючись діаграмою Шеффлера визначили, що сталь 14X17H2 відноситься до перехідного класу аустеніт-мартенсит-ферит, з вмістом  $\delta$ -фериту 7.22%.

Рекомендована попередня термічна обробка сталі 14X17H2: відпал, гартування, високий відпуск. Наступною підготовчою операцією виступає рідинне азотування при температурі 550°C, 2 години. Насичення вуглецем реалізовували за рахунок цементації. В данній роботі використовувався сучасний метод ХТО, а саме – вакуумна цементація при температурі 1050°C, протягом 30 хвилин. Кінцева зміцнююча термічна обробка складається з гартування та низького відпуску.

На основі металографічного дослідження можна зробити висновок про формування структури поверхні сталі після кожної операції. Після азотування формується двошарове захисне покриття з чіткою межею розділу. Товщина зовнішнього шару – 5-7 мкм, під ним розташований тонкий шар білого кольору 2-

3 мкм. Після цементації утворюється карбонітридний шар хрому – CrCN - 10-20 мкм, під ним розташований непротравлений білий шар карбонітриду заліза з окремими включеннями нітриду хрому – 75-100 мкм.

В результаті проведення випробувань на механічні властивості були отримані наступні значення твердості 17-19 ГПа. Застосований метод АМУ при дослідженні зразків на стійкість до МКК показав, що на заготовках не було виявлено тріщин після їх згину приблизно на 90°, це означає, що зразки володіють необхідною стійкістю до МКК.

При розрахунку витрат на науково-дослідну роботу було враховано кількість усіх основних матеріалів; допоміжних матеріалів; витрати на електроенергію; спеціальне устаткування; металографічний аналіз та на заробітну плату для працівників.

В ході виконання роботи були запропоновані правила поведінки та техніка безпеки для робітників які працюють в термічних цехах. Проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві.

Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень, технологічних матеріалів, розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва.

Для забезпечення працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт необхідне застосування засобів індивідуального захисту.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шишков - Марочник сталей и сплавов. Шишков М.М. Ш656 Марочник сталей и сплавов: Справочник. Изд. 3-е дополненное. — Донецк: Юго-Восток, 2002. —456 с.
2. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник / Под общ. ред. М. Л. Берштейна, А. Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение. – Т. 2.-1962. – 1358-1363 с.
3. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под общ. ред. Н. Г. Сальникова. – М.: Машиностроение. –1982. – 676 с.
4. Ворошнин Л.Г. Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. - 133 с.
5. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. -256 с.
6. Спицин И.А., Захаров Ю.А. Совершенствование технологии восстановления отверстий корпусных деталей цинкованием. Науч. тр. Моск. гос. ун-т леса. 2000, № 306, С. 75-76, 55.
7. Лахтин Ю. М. Материаловедение: Учебник для ВТУЗов – 3-е изд. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева // перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990 – 528 с.
8. Ляшенко Б.А., Клименко С.А., Соловых Е.К., Исаханов Г.В. Эффективность инноваций в технологии поверхностного упрочнения. Материалы 8-го Междунар. науч.-техн. семинара, 26-28 февраля 2008 г., г. Свалява. –С.150-152.

9. Герасимов С. А., Куксенова Л. И., Лаптева В. Г. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Є. Баумана. 2012. – 518с.
10. Knerr C. H., Rose T. C. and Fikowski I. H. Gas Nitriding, Heat Treating. Vol 14, ASM Handbook, ASM International, 1991, p. 387-400.
11. Федірко В. М., Погрелюк І. М. Азотування титану та його сплавів. Київ, Наукова думка. – 223с.
12. Хижняк В.Г., Курило Н. А., Більченко О. В. Вплив ступеня дисоціації аміаку на структуру та властивості неіржавіючих азотованих сталей. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2009. – X12. – с. 31-34.
13. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. - 89 с.
14. Калинин Б.А., Платонов П.А., Тузов Ю.В., Чернов И.И., Штромбах Я.И. *Физическое материаловедение: учебник для вузов*. Т. 6. М.: МИФИ, 2008. 672 с.
15. Irvine K.J., Crowe D.J., Pickering F.B. The physical metallurgy of 12 % chromium steels. *J. Iron Steel Inst.* 195 (1980), pp. 386-405с.
16. Дзугутов М.Л. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. М.: *Металлургия*, 1977. - 749 с.
17. Briggs J.Z., Parker T.D. The super 12 % Cr steels. New York: Climax Molybdenum Company, 1995, -220с.
18. Finkler H., Schirra M. Transformation behaviour of the high temperature martensitic steels with 8-14 % chromium. *Materials technology, Steel research*, 67 (1996), pp. 328-342.
19. Alamo A., Brachet J.C., Castaing A., Lepoittevin C., Barcelo F. Physical metallurgy and mechanical behaviour of FeCrWTaV low activation martensitic steels: effects of chemical composition. *J. Nucl. Mater.*, 258-263 (1998), pp. 1228-1235.
20. Холявко В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна

інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.

- 21.Ланская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. М.: Metallurgiya, 1976, – 216 с.
- 22.Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М.: Metallurgiya, 1986,– 752 с.
- 23.ТОВ ТД «СпецСтальТрейд» [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://sst-td.com/>
- 24.Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450—76. – [Чинний від 1976-01-09]. – М. : ИПК издательство стандартов, 1976. 33 с. – (Государственный стандарт ССР).
- 25.ООО «Квазар» [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://kvazar-ufa.com/>
- 26.ТОВ НВФ "Стандарт-М" [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://standart-m.com.ua/>
- 27.Лабораторные работы по курсу «Материаловедение» для студентов физического факультета и факультета «Технология предпринимательство, экономика» разработаны проф., к.т.н. Ростовцевым Н.М., проф., д.т.н. Сергеевым Н.Н., доц., к.т.н. Абрамовой В.И.
- 28.Основи матеріалознавства : Навчальний посібник. / Уклад.: Іваненко І.М. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 190 с.
- 29.А.В. Рабинович, Ю.Б. Заславский, Т.А. Дергач и др. Стойкость против МКК тонкостенных труб из особонизкоуглеродистой стали X17H14M3, легированной азотом //Защита металлов. 1991, т. 27, с. 275–277.
- 30.Межкристаллитная коррозия сталей : учебно-методическое пособие / Е.А. Меркушкин, В.В. Березовская, С.В. Сомина ; Минво науки и высш. образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020.— 72 с.
- 31.Экспрессная оценка склонности к МКРПН и МКК оборудования и трубопроводов из аустенитных коррозионно-стойких сталей / К. И. Шутько

- [и др.] // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР : сб. науч. тр. — Подольск : ОКБ Гидропресс, 2007.
32. Азбукин В.Г., Башаева Е.Н., Мещерякова Т.Н. и др. Повышение структурной стабильности мартенситной стали с регулируемым  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращением при отпуске // МиТОМ. 1982. №9. С. 10-13.
33. LTD «MATERIALWELDING» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.materialwelding.com/>
34. Tsykh S.G., Grishin V.I. and Lisitskiy V.N., 2008, Experience of the use of carbonitration of steel parts and tools in machine building, Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University 4 32–8
35. Могиленец М. В., ООО «Новые технологии упрочнения «КАРБА3», «Карбонитрация в расплаве солей», 02.2018
36. Tsykh S.G., Lisitskiy V.N. and Glebova Y.A., 2010, Modern technologies of chemical and thermal treatment in machine building Production technologies 1 66–70
37. Chatterjee-Fischer R. and Eysell F., 1990, Nitriding and carbonitriding (Moscow: Metallurgy)
38. Prokoshkin D.A., 1984, Chemical and thermal metal treatment – carbonitriding (Moscow: Metallurgy, Machine Building)
39. Тимофеева Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 2 – 50 с.
40. Техніка безпеки при термічній обробці [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ohranatruda.in.ua/pages/1048/>
41. Fujitsuna N., Igarashi M., Booker G.R. Acceleration of Fe<sub>2</sub>W precipitation and its effects on creep deformation behavior of 8.5Cr-2W-VNb steels with Si. Key engineering materials. 171-174 (2000), pp. 469-476.
42. Техніка безпеки при термічній обробці [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ohranatruda.in.ua/pages/1049/>
43. Качанов Н.Н. Прокаливаемость стали. М.: Металлургия, 1978. 192 с.

44. Leslie W.C. Iron and its dilute substitutional solid solutions. Metallurgical transactions. 3 (1972), pp. 5-26.
45. Пістун І.П. Охорона праці при виконанні зварювальних і термічних робіт: навчальний посібник / І.П. Пістун., Р.А. Яцюк, І.О. Трунова. – Львів: УАД, 2011. – 446 с.
46. Ku B. S., Yu J. Effect of Cu additions on the creep rupture properties of 12% Cr steels. Scripta Materialia. 45 (2001), pp. 205-211.
47. ГОСТ 1497-84. Методы испытаний на растяжение. ИПК Издательство стандартов, 1997 г.
48. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ценообразование\\_на\\_НАОКР](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ценообразование_на_НАОКР).