

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«_____» _____ 2020 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження структури, властивостей та характеристик сталі 12X18H10T після хіміко-термічної обробки»

Студент гр. МТ.м-91 _____

Саранчук А.В.

Керівник _____

Харченко Н. А.

Консультант _____

з економічної частини _____

Берладір Х.В.

Консультант _____

з охорони праці _____

Говорун Т. П.

Нормоконтроль _____

Дегула А.І.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Саранчук Андрій Віталійович

1. Тема проекту (роботи) _____ Дослідження структури, властивостей та характеристик сталі 12X18H10T після хіміко-термічної обробки. _____

_____ затверджена Наказом по університету від «11» листопада 2020 р. №__1756- П_

2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані проекту (роботи) аналіз літературних джерел та результати дослідження. _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити) огляд сучасних джерел інформації, матеріал дослідження; методика дослідження; проведення експериментальних частини роботи; економічна частина; охорони праці; висновки; список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення у роботі відсутні, так як робота носить дослідницький характер.

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапу проекту (роботи)	Примітка
1	Розділ 1. Огляд літератури	09.10.2020 - 16.10. 2020	виконано
2	Розділ 2. Характеристика матеріалу	17.10. 2020 – 24.10. 2020	виконано
3	Розділ 3. Проведення експериментальних досліджень і узагальнення результатів	25.10. 2020 – 29.11. 2020	виконано
4	Розділ 4. Економічна частина	30.11. 2020 – 02.12. 2020	виконано
5	Розділ 5. Охорона праці	03.12.2020 – 06.12.2020	виконано

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Саранчук Андрій Віталійович. Дослідження структури, властивостей та характеристик сталі 12X18H10T після хіміко-термічної обробки - Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2020.

Робота присвячена дослідженню мікроструктури, механічних властивостей та характеристик сталі 12X18H10T після хіміко-термічної обробки, а саме після дифузійного одночасного насичення кремнієм та хромом. Доцільність використання даного типу покриття на сталі 12X18H10T підтверджена випробуваннями на розтяг. Стійкість сталі 12X18H10T до міжкристалічної корозії доведена експериментом. Підтверджена перспективність даного типу покриття як зносотійкого.

Ключові слова: 12X18H10T, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ХРОМ, КРЕМНІЙ, ТВЕРДІСТЬ, МІЦНІСТЬ, МІЖКРИСТАЛІЧНА КОРОЗІЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Saranchuk Andrii. Investigation of Structure and Properties of 12X18H10T Steel after Chemicohat Treatment - Manuscript.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 132 - Materials Science. - Sumy State University, Sumy, 2020.

The work is devoted to the study of the microstructure, mechanical properties and characteristics of steel 12X18H10T (AISI 321) after chemical-heat treatment, namely after diffusion simultaneous saturation with silicon and chromium. The feasibility of using this type of coating on steel 12X18H10T (AISI 321) is confirmed by tensile tests. The resistance of steel 12X18H10T to intergranular corrosion was proved experimentally. The confirmed are prospects of this type of coating as wear-resistant.

KEYWORDS: 12X18H10T (AISI 321), CHEMICOHEAT TREATMENT, CHROME, SILICON, HARDNESS, STRENGTH, INTERCRYSTALLINE CORROSION, WEAR RESISTANCE.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує 84 сторінки, зокрема 11 таблиць, 15 рисунків, список із 43 використаних джерел на 5 сторінках, 3 додатків на 16 сторінках.

Мета роботи. Дослідження впливу одночасного дифузійного насичення кремнієм та хромом на мікроструктуру, товщину, мікротвердість та зносостійкість сталі 12X18H10T.

Завдання дослідження. Для реалізації поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Провести теоретичний аналіз існуючих методів хіміко-термічної обробки сталі 12X18H10T, проаналізувати властивості цих захисних покриттів.

2. Розробити новий спосіб хіміко-термічної обробки комплексного насичення сталі 12X18H10T.

3. Дослідити мікроструктуру, визначити товщину захисного покриття сталі 12X18H10T після одночасного насичення кремнієм та хромом.

4. Проаналізувати вплив хіміко-термічної обробки на властивості сталі 12X18H10T після хромосиліціювання (мікротвердість, зносостійкість).

Об'єкт дослідження – сталь 12X18H10T після хіміко-термічної обробки.

Предмет дослідження – вплив одночасної дифузійної металізації кремнієм і хромом на зносостійкість сталі 12X18H10T.

Методи досліджень – мікроструктурний аналіз, визначення макро- та мікротвердості, випробування на розтяг, стійкість до міжкристалічної корозії, зносостійкість при терті ковзанні без змащування по приведеному зносу. Експериментальну частину роботи проводили з використанням сучасного обладнання в лабораторних умовах.

Наукова новизна.

1. Вперше показана можливість одержання на сталі 12X18H10T комплексних покриттів дифузійною металізацією в закритому реакційному просторі в середовищі хлору.
2. Встановлено, що при хромосиліціюванні формуються зовнішня зона $(Cr, Fe)_7C_3$ ферокремній FeSi, за цим шаром спостерігається перехідна зона, яка складається з аустеніту та карбідів хрому або легованих хромом карбідів заліза.
3. Встановлено, що сталь 12X18H10T характеризується: твердість 55 – 171 НВ, тимчасовий опір 587 – 545 МПа, умовна границя текучості 199-225 МПа, відносне видовження 46-58 %; відносне звуження 62-75 %.
4. Встановлено, що в порівнянні зі сталлю 12X18H10T комплексна ХТО приводить до плавного зменшення твердості із зовні покриття до основи.
5. Вперше отриманні дані щодо впливу хромосиліціювання сталі 12X18H10T на зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування. Хромосиліціювання підвищує зносостійкість сталі 12X18H10T в 1,5-1,7 рази.

Ключові слова: 12X18H10T, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ХРОМ, КРЕМНІЙ, ТВЕРДІСТЬ, МІЦНІСТЬ, МІЖКРИСТАЛІЧНА КОРОЗИЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	6
ЗМІСТ	8
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1.....	13
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	13
1.1 Сучасні методи поверхневої обробки сталей.....	13
1.2 Хіміко-термічна обробка сталі 12X18H10T	16
Висновки.....	19
РОЗДІЛ 2.....	20
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1 Характеристика та властивості сталі 12X18H10T.....	20
2.2 Хіміко-термічна обробка 12X18H10T.....	27
2.3 Методи дослідження отриманого покриття.....	27
РОЗДІЛ 3.....	45
ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	45
3.1 Результати металографічних досліджень структури	45
3.2 Результати механічних випробувань	47
3.3 Результати досліджень на МКК	48
3.4 Результати випробувань на зносостійкість.....	51
Висновки.....	52
РОЗДІЛ 4.....	54
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
4.1 Теоретична частина.....	54
4.2 Практична частина	57
Висновки.....	62
РОЗДІЛ 5.....	63
ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	63

5.1 Вимоги до технологічних процесів	63
5.2 Вимоги до виробничих приміщень	65
5.3 Вимоги до технологічних матеріалів	65
5.4 Вимоги до розміщення виробничого обладнання	66
5.5 Вимоги до зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва	67
5.6 Вимоги до персоналу термічних ділянок	68
5.7 Вимоги до застосування засобів захисту працюючих	69
5.8 Контроль виконання вимог безпеки термічного обладнання	69
5.9 Екологізація виробництва	70
Висновки	71
ВИСНОВКИ	72
ЛІТЕРАТУРА	74

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

ХТО – Хіміко-термічна обробка

ТВЧ – Токи високої частоти

МКК – Міжкристалічна корозія

АМУ, АМУФ, ВУ, ДУ – Методики дослідження на міжкристалічну корозію

НДР – Науково-дослідна робота

САНДІ

ВСТУП

Мета роботи. Дослідження впливу одночасного дифузійного насичення кремнієм та хромом на мікроструктуру, товщину, мікротвердість та зносостійкість сталі 12X18H10T.

Завдання дослідження. Для реалізації поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Провести теоретичний аналіз існуючих методів хіміко-термічної обробки сталі 12X18H10T, проаналізувати властивості цих захисних покриттів.

2. Розробити новий спосіб хіміко-термічної обробки комплексного насичення сталі 12X18H10T.

3. Дослідити мікроструктуру, визначити товщину захисного покриття сталі 12X18H10T після хромосиліціювання.

4. Проаналізувати вплив хіміко-термічної обробки на властивості сталі 12X18H10T після хромосиліціювання (мікротвердість, зносостійкість).

Об'єкт дослідження – сталь 12X18H10T після хіміко-термічної обробки.

Предмет дослідження – вплив одночасної дифузійної металізації кремнієм і хромом на зносостійкість сталі 12X18H10T.

Методи дослідження – мікроструктурний аналіз, визначення макро- та мікротвердості, випробування на розтяг, стійкість до міжкристалічної корозії, зносостійкість при терті ковзанні без змащування по приведеному зносу. Експериментальну частину роботи проводили з використанням сучасного обладнання в лабораторних умовах.

Наукова новизна:

1. Вперше показана можливість одержання на сталі 12X18H10T комплексних покриттів дифузійною металізацією в закритому реакційному просторі в середовищі хлору.

2. Встановлено, що при хромосиліціюванні формуються зовнішня зона $(Cr, Fe)_7C_3$ ферокремній FeSi, за цим шаром спостерігається перехідна зона, яка складається з аустеніту та карбідів хрому або легованих хромом карбідів заліза.

3. Встановлено, що сталь 12X18H10T характеризується: твердість 155 – 171 НВ, тимчасовий опір 587 – 545 МПа, умовна границя текучості 199-225 МПа, відносне видовження 46-58 %; відносне звуження 62-75 %.

4. Встановлено, що в порівнянні зі сталлю 12X18H10T комплексна ХТО приводить до плавного зменшення твердості із зовні покриття до основи.

5. Вперше отриманні дані щодо впливу хромосиліціювання сталі 12X18H10T на зносостійкість в умовах тертя ковзання без змащування. Хромосиліціювання підвищує зносостійкість сталі 12X18H10T в 1,5-1,7 рази.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Сучасні методи поверхневої обробки сталей

Перспективність розвитку таких визначальних галузей виробництва як машинобудування, хімічної, радіотехнічної, космічної, енергетики та ядерної техніки не викликає сумнівів. Тому на сьогодні залишається актуальним завдання з розробки нових методів та технологій з підвищення корозійної та зносостійкості поверхонь сталей за рахунок нанесення модифікованих дифузійних покриттів.

Руйнування деталей машин, інструменту та інших виробів в переважній більшості випадків починається з поверхні, і саме до поверхневих шарів стосуються наведені вище вимоги. Корозія призводить щорічно до мільярдних збитків, і вирішення цієї проблеми являється важливим завданням. Основний збиток, що заподіюється корозією, полягає не у втраті металу як такого, а у величезній вартості виробів, що руйнуються корозією. Ось чому щорічні втрати від неї в промислово розвинених країнах настільки великі. Справжні збитки від неї не можна визначити, оцінивши тільки прямі втрати, до яких відносяться вартість зруйнованої конструкції, ціна зміни обладнання, витрати на заходи по захисту від корозії. Ще більшої шкоди становлять непрямі втрати. Це простої устаткування при заміні прокородованих деталей і вузлів, утечка витік нафти і газу, порушення технологічних процесів.

Економічні втрати від корозії металів величезні. У США за даними NACE збиток від корозії і витрати на боротьбу з нею склали 3,1 % від ВВП (276 млрд. дол.). У Німеччині цей збиток склав 2,8 % від ВВП. За оцінками фахівців різних країн ці втрати в промислово розвинених країнах становлять від 2 до 4 % валового національного продукту. При цьому втрати металу, що включають масу вийшли з ладу металевих конструкцій, виробів, обладнання, становлять від 10 до 20 % річного виробництва сталі [1].

У зв'язку з цим об'ємне легування сплавів, як правило, є неекономічним, а в багатьох випадках і нездійсненим через майже повну втрату ними пластичності і в'язкості [1]. Тому в останні роки все більшу увагу дослідників і виробників приділяється різним методам поверхневого зміцнення. Одним з основних методів поверхневого зміцнення є ХТО.

В даний час досить широко застосовують процеси насичення металів і сплавів одним елементом: цементацію, азотування, алітування, хромування і т.д. Насичення двома чи декількома елементами застосовують дуже обмежено. Цілком очевидно, що багатоконпонентне насичення дозволяє значною мірою змінювати властивості поверхневих шарів [1].

Одним з найбільш перспективних методів удосконалення сталей є модифікування поверхневих шарів нанесенням захисних покриттів. Принцип сполучення високої твердості, зносостійкості, корозійно-окисній стійкості й хімічній інертності щодо активних реагентів навколишнього середовища із міцністю і зносостійкістю найбільш вдало реалізується на сталі 12Х18Н10Т і відображено в багатьох роботах сучасних вчених.

В роботі [2] наведена класифікація методів нанесення покриттів за характером взаємодії матеріалу основи, що оброблюється і насичуючого елемента, а також можливостей одержання покриттів. Кожний з технологічних методів нанесення покриттів має свої переваги й недоліки.

Існує значна кількість наукових робіт з приводу класифікації ХТО. Так в роботі [3] наведено огляд існуючих методів комбінованої зміцнюючої обробки сталевих деталей машин, розглянуті основні методи комбінованої обробки конструкційних і інструментальних сталей.

ХТО заснована на твердофазному, рідкофазному і газофазному насиченні поверхонь деталей. Елементи, що дифундують, можуть наситити поверхні деталі безпосередньо, без проміжних реакцій, з попередньою хімічною реакцією на межі оброблюваного матеріалу і покриття або ж в обсязі вихідних реагентів. ХТО можна реалізовувати шляхом насичення

нікелю та нікелевих сплавів як металами так і неметалами. В результаті утворюються дифузійні покриття. Швидкість утворення, кінетика росту покриття, його структура й властивості в значній мірі визначаються температурою процесу, часом насичення, параметрами дифузії насичуючих компонентів в матеріалі й, нарешті, істотно залежать від хімічного складу, структури й властивостей останнього. При хіміко-термічній обробці зміна хімічного й фазового складу, структури й властивостей поверхневих шарів здійснюється при підвищених температурах. При цьому протікають наступні процеси [3]:

- утворення активних атомів елементів, що насичують, та їх перенесення до оброблюваної поверхні;
- адсорбція (хемосорбція) активних атомів оброблюваною поверхнею;
- дифузійне переміщення адсорбованих атомів усередину виробу й обумовлений цим дифузійний перерозподіл елементів основного сплаву.

Дифузійне насичення поверхневих зон нікелю та нікелевих сплавів металами й неметалами призводить до формування покриттів, що складаються або із твердих розчинів насичуючих елементів у вихідних сплавах, або із хімічних сполук. Завдяки цьому з'являється можливість одержання на поверхні виробів захисних покриттів різних за складом та за експлуатаційними властивостями. Оптимальний вибір насичуючого елементу на той чи інший матеріал основи забезпечує високий рівень зчеплення, практично недосяжний при інших видах обробки (плазмових, газотермічних). Дифузійні покриття при ХТО наносяться, як правило, в ізотермічних умовах у штучно створених насичуючих середовищах.

Як стверджують в роботі [4] в порівнянні з іншими методами поверхневої обробки металів (дробоструминний наклеп, накатка роликками, індукційна, газополум'яна і електролітна гартування, лазерна обробка і т.д.) хіміко-термічна обробка має ряд істотних переваг (хоча часто поступається

їм у продуктивності) [4]:

1. Хіміко-термічній обробці можна піддавати деталі будь-яких розмірів і конфігурацій. При інших методах поверхневого зміцнення, наприклад, при накатці роликками або гартуванню ТВЧ, розміри і особливо форма грають виключно важливу роль. Як правило, деталі складної конфігурації піддавати поверхневому зміцненню цими методами дуже складно або взагалі неможливо.

2. При хіміко-термічній обробці досягається набагато більше відмінність у властивостях серцевини і поверхневих шарів, ніж при інших методах поверхневої обробки. Це обумовлено тим, що при механічних і термічних методах поверхневого зміцнення змінюється тільки будова (структура) поверхневих шарів, а при хіміко-термічній обробці крім того змінюються (причому досить суттєво) і їх хімічний склад.

3. Основна небезпека, реальна при всіх термічних методах поверхневого зміцнення - перегрів поверхні, при хіміко-термічній обробці або відсутній, або може бути усунутий наступною термообробкою.

1.2 Хіміко-термічна обробка сталі 12X18H10T

Як зазначається в багатьох роботах [5-8] хіміко-термічна обробка сталі представляє собою певний науковий та практичний інтерес. В результаті даної обробки ми маємо можливість отримати матеріал, який характеризується підвищеними характеристиками та властивостями (поверхневою твердістю, стійкістю до корозії, зносостійкістю).

Встановлено, що при титаноалітуванні зразків із відпаленої сталі 12X18H10T формуються багат шарове покриття Fe_2Ti , Ti_4Fe_2O , TiN , TiC [6]. Крім того показано, що шар TiN виконує роль бар'єру, значно зменшує вміст заліза, нікелю і хрому в покритті, а також істотно гальмує дифузію титану і алюмінія в основу. Мікротвердість шарів TiN в комкомплексних з'єднаннях становить 20,5 ... 23,0, а дифузійної зони сполук - 5,5 ... 12,5 ГПа. Дослідники

зробили висновок, що за складом, будовою, властивостями титаноалітування сталі 2X18H10T може бути рекомендоване для застосування в якості жаро- і корозійностійких, антифрикційних [6].

Попереднє азотування сталі 12X18H10T також має позитивні результати. Встановлено [7], що в результаті титаноалітування попередньо азотованої сталі, на оброблюваній поверхні формується багат шарове покриття за участю сполук Fe_2Ti , Ti_4Fe_2O , TiN , CrN . Результати роботи підтверджують перспективність використання титаноалітування та азотування при експлуатації в умовах дії високих температур, агресивних середовищ, жорстких умов тертя [7].

Комплексне насичення сталі 12X18H10T хромом і титаном було реалізовано в умовах зниженого тиску [8]. Показано можливість формування на сталі 12X18H10T хромоалітованого, покриття з бар'єрним шаром на основі нітриду титану TiN , присутність якого зумовлює зменшення концентрації на зовнішній стороні покриття заліза, титану, збільшення концентрації алюмінію, падіння товщини зони сполук та твердого розчину алюмінію в основі.

Борування сталі 12X18H10T розглянуто в роботі [9]. Введення до складу насичують порошкових середовищ міді або її сплавів можлива інтенсифікація борування сталі 12X18H10T без погіршення експлуатаційних властивостей боридних покриттів при одночасному зниженні їх крихкості.

Однокомпонентне хромування сталі 12X18H10T [10] реалізують для виробів, які працюють в умовах тертя. З метою підвищення швидкості насичення та зносостійкості до складу карбюратора додавали порошок міді [10].

Підвищення стійкості сталі 12X18H10T проти корозійного розтріскування більш, ніж в 30 разів при відсутності схильності до міжкристалітної корозії, були забезпечені нанесенням дифузійних покриттів на основі нікелю Ni , $Ni-Cu$ і $Ni-Cr$. Покриття наносили з розплавів Pb , $Pb-Bi$, $Pb-Sn$, $Pb-Li$ [11].

Комплексне насичення сталі хромом і алюмінієм було реалізовано в роботі [12]. Показано можливість нанесення на поверхню сталі 12X18H10T комплексних покриттів, отриманих шляхом хромоалітування сталей з попередньо нанесеним покриттям TiN. Встановлено бар'єрні функції шару TiN, який гальмує дифузійне проникнення хрому та алюмінію в основу, а заліза основи в шари сполук впорядкованих фаз Al(Fe, Cr), Al (Fe, Ni). Зносостійкість сталі 12X18H10T з покриттями в умовах тертя ковзання без змащування зростає в порівнянні з вихідною у 1,5–5,6 разів [12].

Перспективність використання хромосиліціювання в якості захисного жаро- та зносостійкого покриття наголошено в багатьох роботах [13 – 15]. Таким чином відомі методи насичення багатокомпонентних покриттів на сталі 12X18H10T за складом, будовою, властивостями можуть бути перспективними при їх експлуатації в умовах зношування. Однак, гідну конкуренцію цим технологічно складним процесам може скласти запропонований інноваційний метод металізації – хромосиліціювання (додаток А).

Висновки

Розвиток машинобудування та технологічний прогрес людства в цілому, ставить перед собою задачі необхідності створення нових конструкційних матеріалів з високими технологічними та функціональними властивостями, що здатні забезпечувати необхідні умови експлуатації такі, як тривалий термічний вплив на матеріал, дію агресивних середовищ.

Тому, актуальним завданням кваліфікаційної роботи є розробка нових методів підвищення зносостійкості та корозійної стійкості поверхні сталі 12X18H10T за рахунок нанесення модифікованого дифузійного покриття.

В розділі опрацьовані та аналізовані інформаційні джерела з дослідження технологій дифузійного насичення: технічна література, наукові статі та патенти. Проаналізовані основні види термодифузійних одно- та багатокомпонентних покриттів для підвищення механічних властивостей сталі.

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика та властивості сталі 12X18H10T

В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра, дослідним матеріалом виступає сталь марки 12X18H10T.

Нержавіюча (корозійностійка) сталь 12X18H10T належить до аустенітного класу, володіє високими характеристиками міцності, стійкістю до негативних атмосферних впливів і багатьох видів кислот (в тому числі, нітратної). У той же час сталь 12X18H10T не забруднює і не змінює хімічний склад контактуючих з нею газів, рідин і сипучих тіл [16].

Сталь 12X18H10T — корозійностійка, стабілізована, високоякісна, високолегована. У відповідності до ГОСТ 5632-72 основним елементом сплаву 12X18H10T є залізо (Fe). Крім того, до складу хром-нікелевої сталі входять хімічні елементи в наступному процентному співвідношенні: хром (Cr) від 17 до 19%, нікель (Ni) від 9 до 11%, титан (Ti) близько 0,8%, кремній (Si) не більше 0,8%, сірка (S) менше 0,02%, марганець (Mn) менше 2%, мідь (Cu) до 0,03%, фосфор (P) 0,035% і вуглець (C) менше 0,12%. Дану марку сталі виплавляють в дугових електропечах.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі 12X18H10T, % [17]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	
до 0.12	до 0.8	до 2	9 - 11	до 0.02	до 0.035	17 - 19	до 0.3	(5 C - 0.8) Ti, решта F

В роботі в якості вхідного контролю був проведений спектральний аналіз зразків.

Приналежність сталі до певного класу можна визначити по діаграмі Шеффлера (рис. 2.1) [18].

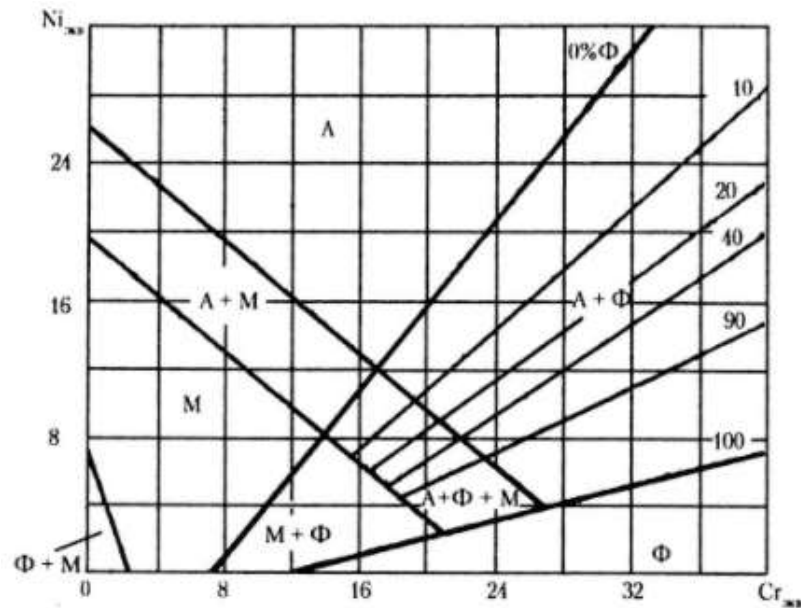


Рисунок 2.1 – Діаграма Шеффлера [18].

Розрахунки еквівалентів по нікелю і хрому реалізуємо на підставі результатів спектрального (хімічного) аналізу сталі 12Х18Н10Т (додаток Б). Коефіцієнти в формулах, за якими будуть визначатися ці еквіваленти, вказані для певних хімічних елементів. За позначення самих хімічних елементів в формулі приймаємо відсотковий склад елементу у відповідності до спектрального аналізу.

Для визначення структури металу дослідженої сталі 12Х18Н10Т треба:

1. за відомим хімічним складом (додаток Б) сталі підрахувати еквіваленти хрому і нікелю ($Ni_{екв}$ і $Cr_{екв}$),
2. відкласти визначені дані на осях ординат і абсцис,
3. знайти точку їх перетину в області діаграми. Дана точка буде вказувати структуру сталі.

$$Ni_{екв} = Ni\% + 30C\% + 30N\% + 0,5Mn\%, \quad (2.1)$$

$$Cr_{екв} = Cr\% + 2Mo\% + 1,5Si\% + 5Ti\% + 2Nb\% + 2Al\% + 1,5W\% + V\%. \quad (2.2)$$

Враховуючи дані зазначені в додатку Б, отримав наступні значення (рисунок 2.2):

$$Ni_{екв} = 9,19 + 30 \cdot 0,08 + 0,5 \cdot 0,69 = 9,19 + 2,4 + 0,345 = 11,94$$

$$Cr_{екв} = 17,91 + 2 \cdot 0,38 + 1,5 \cdot 0,17 + 5 \cdot 0,69 = 17,91 + 0,76 + 0,255 + 3,45 = 22,38$$

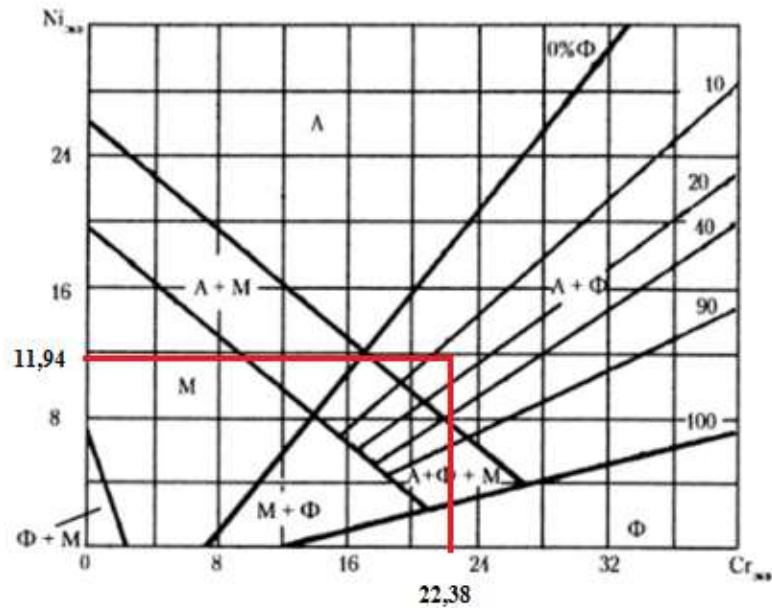


Рисунок 2.2 – Визначення структури сталі за підрахунками еквівалентів нікелю та хрому.

Враховуючи попередні розрахунки сталь 12X18H10T відноситься до аустеніто-феритного класу.

Виходячи з того, що дані зразки сталі 12X18H10T відносяться до перехідного класу аустеніт + ферит, то виникає потреба у визначенні кількості фериту.

Розрахувати вміст фериту можна зсилаючись на діаграму Шефлера, враховуючи значення еквівалентів по нікелю та хрому.

$$\Phi = 1,05Cr_{\text{екв}} + 5,31 - \sqrt{1,1Cr_{\text{екв}}^2 - 35,4Cr_{\text{екв}} + 45,7Ni_{\text{екв}} + 284}, \% \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \Phi &= 1,05 \times 22,38 + 5,31 \\ &\quad - \sqrt{1,1 \times 22,38^2_{\text{екв}} - 35,422,38_{\text{екв}} + 45,7 \times 11,94_{\text{екв}} + 284} \\ &= 4,51 \% \end{aligned}$$

Значну кількість властивостей сталі 12X18H10T ми маємо можливість отримати з літературних джерел [17].

Основні характеристики та властивості сталі 12X18H10T наведені в табл. 2.2 - 2.5 [17].

Характеристика сталі 12Х18Н10Т [17]

Марка сталі :	12Х18Н10Т
Замінник:	08Х18Г8Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 08Х22Н6Т, 08Х17Т, 15Х25Т, 12Х18Н9Т
Класифікація:	сталь конструкційна, кріогенна
Застосування:	деталі, що працюють до 600 °С. Зварні апарати і посудини, що працюють в розведених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей та інші деталі, що працюють під тиском при температурі від -196 до +600 ° С, а при наявності агресивних середовищ до +350 °С .; сталь аустенітного класу.

Таблиця 2.3

Механічні властивості 12X18Н10Т при підвищених температурах [17]

$t_{\text{випробування}},$ °C		700	650	600	550	500	20
$\sigma_{0,2},$ МПа	Гартування 1050-1100°C, охолодження на повітрі	120-195	120-195	120-205	135-205	135-205	225-315
$\sigma_{\text{в}},$ МПа		265-360	270-390	340-410	380-450	390-440	550-650
$\delta_5,$ %		20-38	27-37	28-38	31-41	30-42	46-74
$\psi,$ %		40-70	52-73	51-74	61-68	60-70	66-80
КСУ, Дж/м ²		255-353	245-353	196-358	215-353	196-353	215-372

Таблиця 2.4

Фізичні властивості 12X18Н10Т [17]

Температура випробування, °C	Модуль нормальної пружності, Е, ГПа	Модуль пружності при зсуві крутінням G, ГПа	Щільніс ть, кг/см ³	Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·°C)	Питомий електроопір (ρ , НОм·м)
20	198	77	7900	15	725
100	194	74		16	792
200	189	71		18	861
300	181	67		19	920
400	174	63		21	976
500	166	59		23	1028
600	157	57		25	1075
700	147	54		27	1115

Таблиця 2.4

Технологічні властивості сталі 12Х18Н10Т [17]

Зварюваність:	Без обмежень
Флокеночутливість:	Не чутлива

Таблиця 2.5

Механічні властивості при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ матеріалу 12Х18Н10Т [17]

Сортамент	Розмір мм	σ_B МПа	σ_T МПа	δ_5 %	ψ %	КСУ кДж / м ²	Термообр. -
Труби холоднодеформовані, ГОСТ 9941-81		549		35			
Труби гарячедеформовані, ГОСТ 9940-81		529		40			
Поковки, ГОСТ 25054-81	до 1000	510	196	35- 38	40- 52		Гартування 1050 - 1100 $^{\circ}\text{C}$, вода

Основними легуючими елементами марки 12Х18Н10Т є Cr (хром), Ni (нікель) і Ti (титан). Високий вміст хрому (від 17 до 19%) являє собою основний легуючий елемент, що забезпечує здатність металу до пасивації та надає сильні антикорозійні характеристики сталі.

Вміст нікелю (від 9 до 11 %) переводить сталь до аустенітного класу [19]. Ця властивість дозволяє поєднувати технологічність нержавіючої сталі з розширеним комплексом експлуатаційних характеристик. Такі сталі добре прокатуються в холодному і гарячому стані, мають високу, у порівнянні з феритною сталлю, корозійну стійкість в агресивних середовищах, в тому числі сірчаної кислоти [19].

Вміст нікелю і хрому в сплаві надає специфічний вплив на стабільність аустеніту при охолодженні температури обробки (1050-1100 $^{\circ}\text{C}$) на твердий

розчин. Для того, щоб сталь мала повністю аустенітну структуру при температурі, що перевищує 900 °С, достатньо присутності 0,1% вуглецю (С). Це обумовлено сильним аустеніто-утворюючим впливом даного хімічного елемента.

Крім впливу основних легуючих елементів слід враховувати наявність в сплаві титану, алюмінію і кремнію, які додають йому феритні властивості.

Додавання до складу сильного карбідо-утворюючого елемента - титану - (Ti) дозволяє усунути схильність сталі до міжкристалітної корозії. Вступаючи в реакцію з вуглецем (С), він утворює тугоплавкий карбід TiC, виключаючи зменшення концентрації в сплаві хрому (Cr) шляхом утворення його карбідів.

Кремній (Si), вміст якого в 12X18H10T не більше 0,8%, підвищує щільність сталі і дегазує його. Додавання даного елемента збільшує міцність матеріалу, однак трохи знижує пластичність, що ускладнює холодну прокатку.

Введенням марганцю (Mn) викликається уповільнення швидкості росту зерна, що сприяє отриманню дрібнозернистої сталі.

Граничний вміст фосфору (P) в сталі марки 12X18H10T не може перевищувати 0,035%. Цей показник має критичне значення, так як даний вид сталі використовується в криогенній техніці, а фосфор негативно впливає на механічні властивості сплаву.

Виникає сильна первинна ізоляція при кристалізації, при низьких температурах знижуються пластичні властивості металу.

Основними перевагами сталі марки 12X18H10T є висока ударна в'язкість і пластичність. До недоліку можна віднести відносно низьку стійкість до корозії в середовищах, що містять іони хлору, а також сірчану і соляну кислоти [20].

2.2 Хіміко-термічна обробка 12X18H10T

Металізація поверхні матеріалів – це хімічного складу поверхні матеріалу, яка призводить до зміни структури, характеристик та властивостей (фізичних, хімічних, механічних, електро- і теплопровідності, жаростійкості, зносостійкості, корозійної стійкості та інших) [21-23].

Спосіб дифузійного насичення в порошковому карбюризаторі (металами та/або неметалами) полягає в тривалому нагріванні матеріалів в замкнутому просторі. Нагрівання реалізується за температур, близьких до температури плавлення порошку. Крім того, дифузійний спосіб нанесення можливо здійснити шляхом нагрівання виробів в атмосфері, що містить пари летючих сполук металів або пари металів. В результаті нанесення покриття дифузійним способом на поверхні виробу утворюється сплав, із компонентів основи та насичуючої суміші [24].

2.3 Методи дослідження отриманого покриття

В роботі використовували металографічний аналіз, визначали механічні властивості основи та покриття (макро- та мікротвердість, міцнісні властивості, відносне видовження, відносне звуження); випробування на стійкість до міжкристалітної корозії (МКК), визначення зносостійкості.

2.3.1 Металографічний аналіз

Визначення мікроструктури сталі 12X18H10T після ХТО проводимо металографічними мікроструктурними методами [25].

Мікроаналіз – дослідження структури металу за допомогою мікроскопа, тобто при великих збільшеннях [25]. Мікроаналіз дозволяє визначити структурні складові металів і сплавів в литому, відпаленому стані, а також після різної термічної обробки. При цьому можна встановити якість

металу, наявність в ньому включень, величину, форму і орієнтацію зерен, стан границь зерен і інші деталі структури. Мікроаналіз складається з наступних етапів:

- 1) приготування мікрошліфів (шліфування та полірування);
- 2) травлення мікрошліфів (виявлення мікроструктури);
- 3) дослідження мікроструктури металів і сплавів під мікроскопом.

Завдання мікроаналізу:

- 1) оцінка форми і розмірів кристалічних зерен металів і сплавів;
- 2) визначення форми і розмірів неметалевих включень – сульфідів, оксидів і ін .;
- 3) визначення мікротріщин, раковин, пор і ін .;
- 4) аналіз зміни мікроструктури сплавів після термічної, хіміко-термічної обробки;
- 5) визначення хімічного складу деяких структурних складових за їх характерною формою і забарвленням після травлення.

Приготування мікрошліфів. Найбільш зручним мікрошліфом є циліндр діаметром 12-15 мм і висотою 15-20 мм або кубик (паралелепіпед) аналогічних розмірів. Досліджувана поверхня мікрошліфа повинна бути плоскою і блискучою (дзеркальною). Приготування мікрошліфів здійснюють в декілька стадій, на яких використовується шліфувальний папір різної зернистості абразивних частинок. Шліфування здійснюється вручну або автоматично на шліфувальних установках. При зміні шліфувального паперу на більш дрібнозернистий, зразок повертають на 90° і шліфування продовжують до тих пір, поки не будуть видалені всі риски і подряпини, отримані під час попередньої шліфовки. Шліфований зразок промивають від частинок абразиву та полірують.

Полірування – остаточна операція в виготовленні шліфа. Виконують на полірувальних машинах (обертючих дисках), обтягнутих фетром або сукном. У процесі полірування на диск подається суспензія оксиду хрому, алюмінію

або заліза. Полірування вважається закінченим, якщо шліф має дзеркальну поверхню і вилучені всі подряпини [25]. Відполірований зразок промивається водою, протирається спиртом і залишається просихати.

Підготовлений мікрошліф можна досліджувати, не піддаючи його травленню. При цьому вивчається наявність і розподіл неметалевих включень (графіту, сульфідів, оксидів та ін.).

Для виявлення мікроструктури шліфи піддають травленню. Для цього частіше застосовують слабкі спиртові або водні розчини кислот або лугів, а також суміші різних кислот. Різні структурні складові піддаються травленню неоднаково і тому по-різному будуть відбивати світло. Більш схильна до травлення структура буде більш темною, оскільки буде розсіювати більше променів. Границя зерен травиться сильніше, ніж тіло зерна. Це пов'язано з різницею в хімічному складі (скупчення домішок відбувається біля кордону) і спотворенням кристалічної будови. В результаті травлення на поверхні шліфа з'являється мікрорельєф за рахунок неоднакової висоти структурних складових.

Таким чином, за допомогою травлення вдається виділити окремі структурні складові та межі зерен.

Вертикальний металографічний мікроскоп МИМ-7 (рисунок 2.3) призначений для спостереження і фотографування мікроструктури металів зі збільшенням від 60х до 1440х крат, має потужний механізм фокусування. Як джерело світла використана кінопроекційна лампа К-30 17В, 170Вт [25].



Рисунок 2.3 – Загальний вигляду мікроскопу МИМ-7 [25].

При дослідженні поверхні металу під мікроскопом безпосередньо після полірування можна виявити на загальному світлому полі окремі темні і сірі точки та лінії, які представляють собою як неметалеві включення (оксиди, сульфіди, нітриди, силікати, графіт, шлак), так і не усунуті поліруванням дефекти поверхні зразка (мікротріщини, раковини і ін.).

2.3.2 Визначення механічних властивостей

В даній роботі було реалізовано визначення комплексу механічних властивостей сталі 12X18H10T, таких як: макро- та мікротвердість, міцнісні властивості, відносне видовження, відносне звуження [26-33].

Твердість – властивість металів чинити опір проникненню в них інших, більш твердих тіл [28-30]. Твердість визначає експлуатаційні властивості металу, опір стиранню, ріжучі властивості інструменту для обробки металів, ерозійну стійкість і т.д. По твердості іноді можна непрямим шляхом

визначити межу міцності і текучості металу, не вирізаючи зразків. Більшість методів визначення твердості засноване на принципі вдавнення в випробуваний метал більш твердого індентора кульки, конуса або піраміди [26].

Для випробування твердості металів і сплавів застосовують твердомір Брінелля типу ТШ-2М (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Стационарний твердомір ТШ-2М [28-31]

Випробування на твердість по Брінеллю проводять вдавненням у випробуваний метал загартованої сталеві кульки. Після зняття навантаження на поверхні зразка залишається відбиток від кульки. Твердість по Брінеллю позначають літерами НВ, вона дорівнює відношенню навантаження на кульку, вираженої в кг, до площі відбитка в мм. Чим твердіше метал, тим менше площа відбитка.

Діаметр кульки і навантаження встановлюють залежно від досліджуваного металу, його твердості і товщини. На практиці користуються таблицею перерахунку площі відбитка в число твердості.

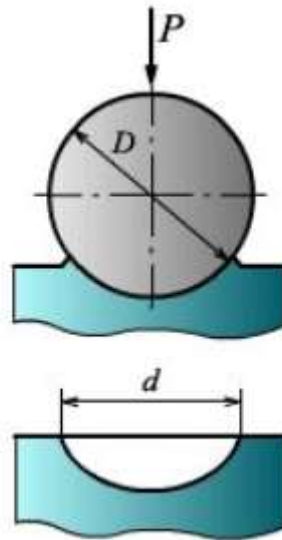


Рисунок 2.5 – Схема визначення твердості по Брінеллю[28].

Твердість за Брінеллем HB розраховується за формулою:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi Dh} \quad (2.4)$$

де P — прикладене навантаження, кПа;

F — площа поверхні відбитку;

D — діаметр кульки, мм;

d — діаметр відбитку, мм;

h — глибина вдавлювання індентера.

Дослідження на мікротвердість — один з найбільш тонких способів механічних випробувань матеріалу. За допомогою прибору для випробувань на мікротвердість, можна визначити число твердості для таких малих об'ємів матеріалів, точний склад яких сучасними способами іноді важко визначити [27].

Мікротвердість зразків вимірюють на мікротвердомірі ПМТ-3М (рис. 2.6) вдавненням стандартної алмазної пірамідки (індентора) з квадратною основою і кутом при вершині 136° при навантаженні 20 або 50 г протягом 10 секунд. При дослідженні вимірюють довжину діагоналі відбитку

і підраховують число твердості від прикладеного навантаження на поверхню отриманого відбитка [27].

Оскільки глибина вдавлювання індентора становить декілька мікрометрів, дуже важливо виключити вплив процесу підготовки поверхні зразка на значення величини мікротвердості. Тобто зразок перед випробуванням повинен бути відшліфований та відполірований. Число твердості позначають H_μ і записують без одиниці вимірювання, де μ – це вага вантажів у грамах. Загальна схема мікротвердоміра ПМТ-3 [28].

Числа твердості визначаються за формулою або за таблицями залежно від діагоналі відбитка та прикладеного навантаження [28].

За величиною середньої величини діагоналі d_{cp} визначали мікротвердість:

$$H_\mu = \frac{P}{d_{cp}} \quad (2.5)$$

де H_μ – значення мікротвердості, Гпа; P – навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою 50 г складала $\pm 0,1$ мг) [29,30].



Рисунок 2.6 – Мікротвердомір ПМТ-3 [29]

Для визначення механічних властивостей зразків сталі 12Х18Н10Т використані наступні методи:

- статичні, коли навантаження зростає повільно і плавно (випробування на розтяг, твердість);
- динамічні, коли навантаження зростає з великою швидкістю (випробування на ударний вигин).

При випробуванні на розтяг визначають межу міцності (σ_B), межу плинності (σ_T), відносне видовження (δ) і відносне звуження (ψ). Випробування проводять на розривних машинах МР-200 (рисунк 2.7) з використанням стандартних зразків (тип III за ГОСТ 1497-84) з площею поперечного перерізу F_0 і робочої (розрахункової) довжиною l_0 .

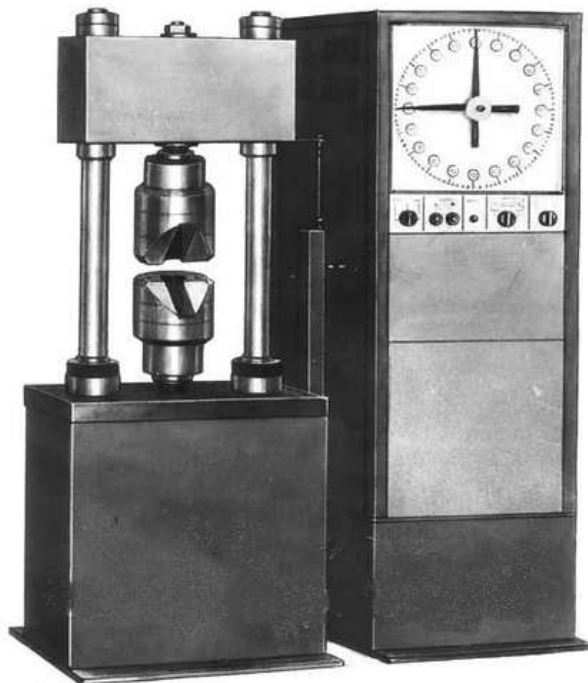


Рисунок 2.7 – Установка для випробувань на розрив МР-200

Щоб визначити міцність металу, що працює на розтяг, зразок 1 встановлюють в затискачі 2 розривної машини. Сила, що розтягує, F створює напругу в випробувальному зразку і викликає його подовження. Коли напруга перевищить міцність зразка, він розірветься. В результаті проведення випробувань отримують діаграму розтягування. По осі абсцис відкладають навантаження F , по осі ординат – абсолютне подовження ΔL [31 – 33].

З діаграми видно, що спочатку зразок подовжується пропорційно навантаженню. Прямолінійна ділянка OA відповідає оборотним, пружним деформаціям. При розвантаженні зразок приймає вихідні розміри (цей процес описується все тим же прямолінійним ділянкою кривої). Викривлений ділянку AC відповідає незворотнім, пластичних деформацій. При розвантаженні (штрихова пряма CB) зразок не повертається до початкових розмірів і зберігає деяку залишкову деформацію.

Від точки C зразок подовжується без збільшення навантаження. Горизонтальний ділянку CM діаграми називається майданчиком плинності. Напруга, при якому відбувається зростання деформацій без збільшення навантаження, називається межею плинності. [32]

Як показують дослідження, плинність супроводжується значними взаємними зрушеннями кристалів, в результаті чого на поверхні зразка з'являються лінії, похилі до осі зразка під кутом 45° . Зазнавши стану плинності, матеріал знову знаходить здатність чинити опір розтягуванню (зміцнюється), і діаграма за точкою M піднімається вгору, хоча набагато більш полого, ніж раніше. У точці D напруга зразка досягає своєї максимальної величини, і на зразку з'являється різке місцеве звуження, так звана шийка. Площа перетину шийки швидко зменшується і, як наслідок, відбувається розрив зразка, що на діаграмі відповідає положенню точки K.

При випробуванні на розтяг визначають:

Межа міцності (σ_B) – це максимальне навантаження, яке витримує матеріал без руйнування, віднесене до початкової площі поперечного перерізу зразка [32].

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} \quad (2.6)$$

де, P_B – найбільше навантаження, Н;

F_0 – початкова площа перерізу зразка, мм.

Межа плинності (σ_T) – це навантаження, при якій відбувається пластична деформація, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка [32].

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \quad (2.7)$$

де, P_T – навантаження межі плинності, Н.

Пластичність – здатність твердих тіл необоротно деформуватися під дією зовнішніх сил. Пластичність для сталі 12Х18Н10Т характеризується відносним подовженням (δ) і відносним звуженням (ψ):

δ – відносне подовження, %

$$\delta = \frac{l_0}{l_1} \quad (2.8)$$

де, l_0 – довжина зразка до розриву, мм;

l_1 – довжина зразка після розриву, мм;

ψ – відносне звуження, %:

$$\psi = \frac{F_0}{F_1} \quad (2.9)$$

де, F_0 – площа перетину до розриву, м²;

F_1 – площа перетину після розриву, м².

2.3.3 Випробування на стійкість до міжкристалічної корозії (МКК)

Міжкристалічною корозією називається такий вид корозії, при якому руйнування піддаються переважно кордони зерен металу. Внаслідок цього процесу слабшають зв'язки між зернами, виникають тріщини, що призводять до крихкого руйнування металу [35, 36].

Міжкристалічна корозія характерна для нержавіючої сталі, особливо на ділянках зварювання, і характеризується відносно рівномірним розподілом множинних тріщин на великих ділянках поверхні конструкцій. Глибина тріщин зазвичай менше, ніж їх розміри на поверхні. На кожній ділянці

розвитку цього виду корозії тріщини практично одночасно зароджуються від багатьох джерел, зв'язок яких з внутрішніми або робочими напругами не є обов'язковою. Під оптичним мікроскопом на поперечних шліфах, що виготовляються з відібраних проб, видно, що тріщини поширюються тільки на межі зерен металу. Окремі зерна можуть викришуватися, в результаті чого утворюються виразки і поверхневе луцення. Основною характеристикою міжкристалітної корозії є середня швидкість проникнення корозійних тріщин вглиб металу, що встановлюється відповідно до ГОСТ 6032-2003.

Стійкість зразків із сталі 12X18H10T до МКК я визначав за ГОСТ 6032-2017 методом АМУ. Метод АМУ (А – літерне найменування методів, М – присутність в розчині для випробувань металевої міді, У – прискорені випробування) полягає в тому, що зразки сталей витримують в киплячому водному розчині сірчаноокислої міді і сірчаної кислоти в присутності металічної міді (стружка) [35].

Для проведення випробувань застосовують такі реактиви:

- мідь сірчаноокислу ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) по ГОСТ-4165 або мідний купорос по ГОСТ 19347;
- кислоту сірчану по ГОСТ 4204 щільністю $1,83 \text{ г/см}^3$;
- воду дистильовану за ГОСТ 6709;
- мідь у вигляді стружки по ГОСТ 859;
- кислоту соляну за ГОСТ 3118 щільністю $1,19 \text{ г/см}^3$;
- кислоту азотну по ГОСТ 4461 щільністю $1,40 \text{ г/см}^3$ [35].
-

Таблиця 2.6

Реактиви для випробування сталі на МКК [36].

Назва реактиву (хімічна формула)	Мідний купорос (CuSO_4)	Кислота сірчана (H_2SO_4)	Вода дистильована	Мідна стружка
Кількість	50 г	250 г	1000 см^3	50 г



Рисунок 2.8 – Реактиви для випробувань на МКК (метод АМУ)
 1 – мідний купорос сірчана кислота; 2 – сірчана кислота; 3 – вода
 дистильована; 4 – мідна стружка.

Розчин для випробування: до (1000 ± 3) см³ води додають сірчаної кислоти мідь $(50 \pm 0,1)$ г, невеликими порціями сірчану кислоту (250 ± 3) см³ і до завантаження зразків в колбу з розчином додають мідну стружку в кількості, що забезпечує всебічний контакт із зразками і відсутність контакту між зразками [35].

ГОСТ ГОСТ 6032-2017 регламентує форму та розміри зразків для випробування на стійкість до МКК. Зразки для проведення випробувань мають розміри $L = 120$ мм, $B = 18$, $H = 3$ мм [36] (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Зразки зі сталі 12X18H10T для випробування на стійкість до МКК

Випробування проводять в скляній колбі зі зворотним холодильником. Допускається завантаження зразків однієї і тієї ж марки сталі в кілька рядів за умови, що ряди зразків, між якими повинна знаходитися мідна стружка, не будуть стикатися один з одним. Завантаження зразків різних марок сталей в одну і ту ж колбу не допускається. Потім колбу заповнюють розчином для випробувань близько $4-8$ см³ на 1 см³ поверхні зразка, при цьому рівень розчину повинен бути на $1,0-1,5$ см вище поверхні зразків або шару стружки.

Реакційний посуд з розчином і зразками для випробування нагрівають і безперервно кип'ятять, не допускаючи нагрівання холодильника. Тривалість витримки в киплячому розчині ($8,0 \pm 0,25$) год. Після витримки в розчині зразки промивають водою і просушують. При відкладенні на зразках шару

міді, незмивним струменем води, його видаляють, промиваючи зразки в 20%, 30%-у розчині азотної кислоти при температурі від 20°C до 25°C. Допускається багаторазове використання розчину для випробувань за умови збереження його кольору [35].

Після закінчення випробувань для виявлення МКК зразки згинають на кут $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$. Радіус заокруглення оправки вибирають в залежності від товщини зразків, класу сталі і виду металопродукції, з якої виготовлені зразки.

Огляд вигнутих зразків проводять за допомогою лупи із збільшенням 8х-12х. Відсутність тріщин на зразку, зігнутому після випробування в розчині, за винятком поздовжніх тріщин і тріщин безпосередньо на крайках, свідчить про стійкість проти міжкристалітної корозії [35].

2.3.4 Зносостійкість

При розробці матеріалів, що працюють в умовах тертя, виникає необхідність в глибоких знаннях процесів, які протікають при контакті. Швидкі темпи розробок сучасних матеріалів вимагають від науковця обґрунтування доцільності використання нового матеріалу в тих ч інших умовах. Тому, кожен раз при розробці нових матеріалів вимагається дослідно-експериментальна оцінка переваг матеріалу, що працює в вузлі тертя в умовах наближених до реальних умов експлуатації.

Одним з основних напрямків, який допомагає вирішити поставлене завдання, є обґрунтована послідовність проведення лабораторних трибометричних випробувань.

Поведінка реальної трибометричної системи 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 отримання даних про реальні триботехнічні системи. Посилаючись на них, можна підібрати робочі

параметри (P , V , T), тип руху, геометрію спряження для здійснення тих процесів тертя в досліджуваній системі. З цією метою широко використовуються спеціальні установки - машини тертя, трибometri, які дозволяють змінювати умови роботи поверхонь, що труться в необхідному діапазоні швидкості і тиску при наявності певного робочого середовища [37].

Проведення близьких до реальних умов, випробувань виконувалися на машині тертя МТ-68 (рисунок 2.10) конструкція, якої дозволяє одночасно і незалежно вимірювати силу (коефіцієнт) тертя, зношення зразка і температуру в зоні контакту.

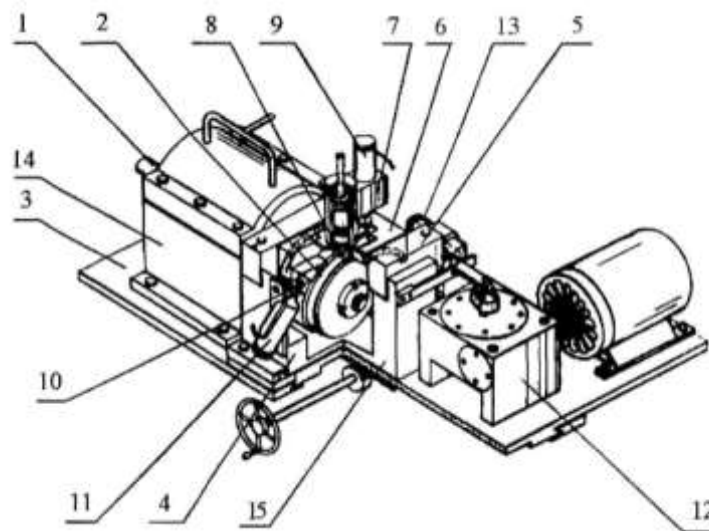


Рисунок. 2.10 – Схема вузла тертя машини МТ-68: 1– вал; 2 – контртіло; 3 – супорт; 4, 5 – направляючі; 6 – коливальна каретка; 7 – навантажувальний пристрій; 8 – цанговий затискач; 9, 11, 13 – датчики; 10 – пружина; 12 – черв'ячний редуктор, 14 – опори шпинделя, 15 – рухома каретка.

Основною частиною установки МТ-68 є вузол тертя (рисунок 2.10) він розміщений на станині. На супорті (3), який переміщується по направляючих станини, розміщено такі основні вузли: направляючі (4), рухома каретка (15), опори шпинделя (14), механізм зворотньо-поступального руху з черв'ячним редуктором (12). На супорті розміщений важіль притискача, який дозволяє фіксувати супорт в заданому положенні відносно станини і шпинделя.

Робота здійснюється наступним чином. Обертання від двигуна постійного струму з регулюємим числом обертів передається за допомогою клиноремінної передачі на вал 1 шпинделя машини. На валу шпинделя розміщене з'ємне контртіло (2). На бокових стінках рухомої каретки (15) закріплені направляючі (4) співвісні валу шпинделя. По направляючим (5) на шарнірах, розміщених в сепараторах обкатується 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.

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

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.

Зворотньо-поступальний рух створюється низько оборотним електродвигуном з регулюючим числом обертів, чев'ячним редуктором (12) і кривошипним механізмом. Кривошип зв'язаний з вузлом тертя через пружний силувимірювальний елемент - плоску пружину, деформація якої вимірюється індуктивним датчиком (13), що дозволяє визначати силу тертя, які виникають внаслідок зворотньо-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 трибології може здійснюватися при обертовому, зворотньо-поступальному русі, тож і при спільному русі, імітуючи процес різання матеріала.

Випробування на зносостійкість виробів з захисними покриттями виконували на машині тертя МТ-68 по схемі вал - вкладиш при навантаженні $P = 0,5 - 1,0$ МПа та швидкості ковзання $V = 10$ м/с. Матеріал ролика - сталь 65Г, загартована та відпущена, твердість HRC 51, матеріал зразка сталь 12Х18Н10Т після ХТО. При цьому нанесення покриттів виконували на попередньо притертій до ролика 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 зворотньо-поступального руху є стандартними індуктивними датчиками. Кожний з них зв'язаний з електрописцем, який графічно, відтворює лінійне переміщення щупа індуктивного датчика.

Температура пари тертя вимірюється за допомогою термопари, 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 її зоні.

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

Висновки

В розділі було підібрано, опрацьовано та описано основні методики проведення досліджень та випробувань, які були застосовані при виконанні кваліфікаційної роботи магістра під час якої:

Визначено точний хімічний вміст елементів і обраховано за допомогою діаграми Шефлера за вмістом хімічних елементів визначено структурний клас досліджених зразків із сталі 12X18H10T. Реалізовано хіміко-термічну обробку зразків сталі 12X18H10T в твердофазному карбюризаторі (30 % FeCr, FeSi, Al₂O₃, NH₄Cl) за температури 1050 °C впродовж 10 годин. Проведені випробування структури, сучасних методик вимірювання експлуатаційних характеристик та властивостей сталі 12X18H10T.

Обрані методики вивчення мікроструктури і механічних властивостей досліджуваних матеріалів проводили на сучасному обладнанні у відповідності з ГОСТ.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Результати металографічних досліджень структури

З метою проведення металографічних досліджень було виготовлено 6 зразків (мікрошліфів) зі сталі 12X18H10T, попередньо підготовлених: відшліфованих вручну наждачним папером різної зернистості, в порядку зменшення розмірів абразиву та відполірованих. Далі зразки піддали травленню для подальшого вивчення.

Вивчення протравленого шліфа дозволяє вирішити ряд задач при аналізі мікроструктури будови матеріалу: встановити кількість структурних складових сплаву та характер їх розташування; величину зерен (шляхом їх зіставлення за спеціально встановленою шкалою або безпосереднім вимірюванням, знаючи величину збільшення); вид термічної обробки і правильність вибору її режиму (температури нагрівання, швидкості охолодження) [34].

Дослідження проводили використовуючи оптичний мікроскоп МИМ-7 та комп'ютер з програмою дослідження мікроструктури. Дослідження мікроструктури провели на протравлених зразках одразу після полірування та протравлених, з використанням розчину плавикової кислоти.

Виявлення повної картини мікроструктури (форми і розміру зерен, глибини зміцненого шару, наявності фаз, структурних складових і ін.), можливо після травлення полірованого мікрошліфа. Перед травленням поверхню зразка знежирили спиртом. Травлення зразків сталі 12X18H10T провели за допомогою плавикової кислоти (рис.3.1).

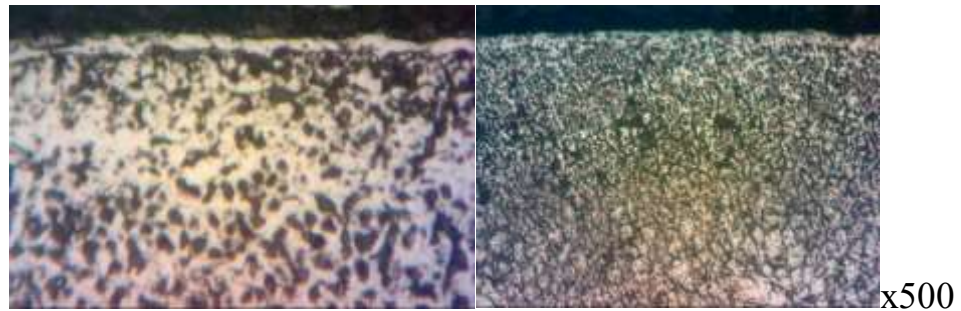


Рисунок 3.1 – Структура сталі 12X18H10T після хромосиліціювання

Структура поверхневого шару (світлий шар) - це твердий розчин хрому і кремнію в залізі $(Cr, Fe)_7C_3$, твердий розчин $FeSi$ (ферокремній) за цим шаром спостерігається перехідна зона - аустеніт+ δ -феррит, карбіди хрому або леговані хромом карбіди заліза.

В результаті математичних розрахунків у відповідності до діаграми Шеффлера та у відповідності до хімічного складу зразків сталі 12X18H10T було встановлено, що дані зразки сталі містить незначну кількість δ -фериту. Металографічний аналіз не підтвердив цю інформацію. Пояснити ці розбіжності можна тим, що кількість δ -фериту становить 4,51 % і таку незначну кількість фази важко визначити в певній області дослідження.

δ -ферит – це один з твердих розчинів в системі залізо-вуглець, високотемпературна модифікація фериту. δ -ферит є алотропічною модифікацій заліза, яка існує при температурі вище $1390^{\circ}C$. Гранична концентрація вуглецю в α -фериті становить 0,025%, а в δ -фериті – приблизно 0,1%. Властивості фериту близькі до властивостей заліза. Тому він є м'якою фазою з відносно низькою твердістю по Брінелю: при кімнатних температурах $HV = 80-130$. Він пластичний і має межу міцності $\sigma_b = 300$ МПа і відносне подовження $\delta = 30\%$, він магнітний до $768^{\circ}C$. Також δ -ферит негативно впливає на механічні властивості.

3.2 Результати механічних випробувань

Однією з особливостей у досліджувальній роботі покриттів є висока мікротвердість, абсолютні значення якої визначаються типом захисного покриття, що наноситься, і складом матеріалу, яким обробляють. Мікротвердість є величиною, що досить легко вимірюється. Але в той же час діапазон значень мікротвердості достатньо широкий.

Для проведення дослідження з визначення мікротвердості на сталі 12Х18Н10Т, у якості обладнання було застосовано мікротвердомір ПМТ-3.

При вимірюванні мікротвердості, перевагу було надано аналізу поперечних шліфів. В цьому випадку з'являється можливість аналізу вимірювань мікротвердості по товщині дифузійної зони матеріалу. Навантаження, яке використовувалось при реалізації випробування становить 100 г.

Значення замірів мікротвердості приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Значення мікротвердості

№ вимірювання	Товщина, мкм	Значення мікротвердості, ГПа
1	25,41	3,50
2	25,41	3,41
3	26,40	3,20
4	27,39	2,93
5	28,71	2,71
6	28,71	2,52

Мікротвердість дифузійного покриття значно вище за твердість основи. Крім того, під карбідним шаром знаходиться тонка перехідна зона.

Мікротвердість перехідної зони вище, ніж матеріалу основи – сталі 12Х18Н10Т.

Результати визначення мікротвердості представлені в таблиці 3.2.

Максимальна твердість становить 171 НВ (таблиця 3.2)

Таблиця 3.2

Результати вимірювань сталі 12Х18Н10Т при розтяганні

№ зразка	Розтяг циліндричного зразка							По Брінеллю, НВ
	Діаметр, мм	Початкова базова довжина, мм	Умовна границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа	Тимчасовий опір, σ_b , МПа	Відносне подовження, δ %	Відносне звуження, ψ %		
1	10,0	50	199	545	58	75	156	
2	10,0	50	200	549	56	74	155	
3	10,0	50	222	581	48	62	171	
4	10,0	50	221	580	48	62	169	
5	10,0	50	225	587	46	62	157	
6	10,0	50	224	586	46	62	155	

Максимальне значення тимчасового опору становить 587 МПа, мінімальне – 545 МПа, умовна границя текучості вар'юється в діапазоні 199-225 МПа, відносне видовження становить 46-58 %; відносне звуження 62-75 %.

3.3 Результати досліджень на МКК

Причиною виникнення міжкристалічної корозії (МКК) у більшості випадків є – недотримання режимів термічної обробки сталі або проведення технологічних операцій (зварювання, згинання, штампування) в такому

температурному інтервалі, що є небезпечним. Окрім того, МКК може виникати при тривалій експлуатації обладнання при підвищених температурах.

Виявлення схильності до МКК шляхом випробування матеріалу в реальних середовищах є найбільш правильним, проте, це практично неможливо, адже по-перше – існує велике різноманіття корозійноактивних середовищ, по-друге – довготривалий процес випробувань.

Для прискореної оцінки схильності сталі до МКК розроблений ряд методів, що полягає в приготуванні контрольних розчинів та витримці в них досліджуваного матеріалу, для більш швидкого отримання результатів.

Стійкість до міжкристалічної корозії аустенітної сталі 12X18H10T визначали по ГОСТ 6032-2017 [36]. Відповідно до ГОСТу було обрано метод АМУ.

Випробування зразків за методом АМУ полягає в зануренні заготовок в спеціальний підготовлений розчин (рисунок 3.2) і витримці їх протягом 8 годин. Зразки зі сталі 12X18H10T витримували в киплячому водному розчині що складається з сірчаної кислоти 43% концентрації, азотної кислоти 56% концентрації, соляної кислоти 13% концентрації та мідної стружки. Фото зразків до випробування та установки для проведення дослідження наведено на рисунках 3.2



Рисунок 3.2 – Випробування зразків сталі 12X18H10T на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом АМУ.

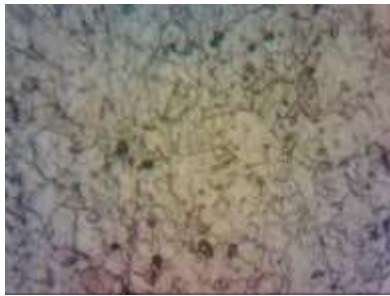
Витримані в розчині зразки вийняли з колби і загинали на кут 90° . При огляді зразків, тріщин не було виявлено, це говорить про те, що зразки не схильні до міжкристалічної корозії.



Рисунок 3.3 – Поверхня зразка сталі 12X18H10T після випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом АМУ.

Результати попердьо отриманих результатів підтвержені металографічним аналізом (рис. 3.4). Цей аналіз також відображено у ГОСТі. В цьому випадку досліджують мікроструктуру зразків при певному

збільшенні мікроскопа. Наявність широких меж зерен відсутні. Сталь 12X18H10T не схильна до МКК.



X100



X500

Рисунок 3.4 – Мікроструктура сталі 12X18H10T після випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом АМУ.

3.4 Результати випробувань на зносостійкість

Випробовування на зносостійкість в умовах тертя-ковзання без змащування сталі 12X18H10T з покриттям та без нього виконували на машині тертя МТ-68 при навантаженні 0,5–1,5 МПа та швидкості ковзання 5 м/с. Величину зносу оцінювали за відношенням зміни розмірів зразка до відстані шляху ковзання.

На досліджуваній поверхні тертя сталі 12X18H10T після хромосиліціювання спостерігаються лінії абразивного мікрорізання в напрямку тертя. Можна вважати, що в якості абразивного матеріалу виступають окремі тверді частки дифузійного покриття або контактуючого матеріалу.

Слідів адгезійного зчеплення в процесі тертя з контактуючим матеріалом та налипання його на поверхню досліджуваного матеріалу не виявлено, що говорить про високі захисні властивості покриття на сталі 12X18H10T.

Зносостійкість сталі 12X18H10T з хромосиліційованим покриттям зростає в 1,5–1,7 рази у порівнянні зі сталлю, що не підлягала хіміко-термічній обробці (рис.3.5).

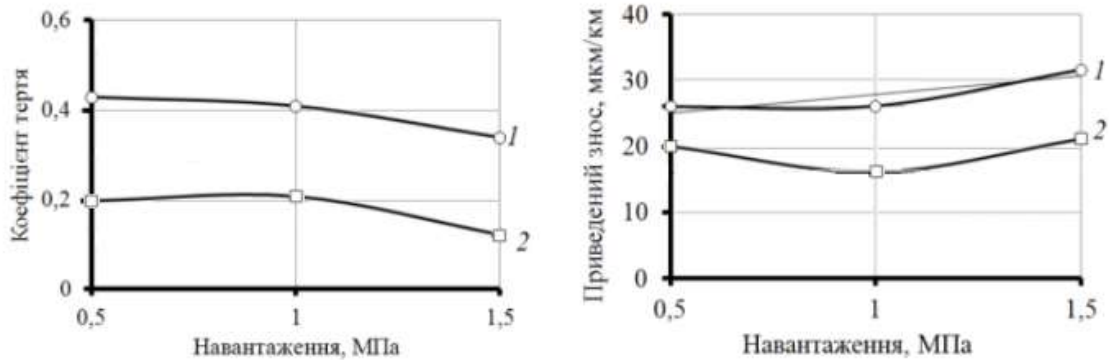


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта тертя та приведенного зносу від навантаження ковзання сталі 12X18H10T без захисного покриття (1), сталі 12X18H10T після хромосиліціювання (2).

Висока зносостійкість отриманого покриття на сталі 12X18H10T зумовлена значною твердістю та високою адгезією з матеріалом основи.

Результати дослідження механічних характеристик дифузійного покриття показують перспективність його застосування в якості зносостійкого шару на поверхні сталі 12X18H10T.

Висновки

Дослідження мікроструктури сталі металографічним аналізом показало, що структура захисного шару протравлених зразків відповідає твердому розчину хрому і кремнію в залізі, далі за цим шаром знаходиться перехідна зона, що складається з аустеніту, δ -ферриту (4,51 %) та карбідів хрому або легованих хромом карбідів заліза.

Після проведення механічних випробувань, вимірювань мікротвердості, можна спостерігати поступовий розподіл мікротвердості від

покриття до основи. Найбільше значення мікротвердості відповідає фазі отриманого покриття та складає 3,51 ГПа, основа має мікротвердість порядку 2,5...2,6 ГПа.

Комплекс механічних властивостей представлений діапазоном: твердість 155-171 НВ, тимчасовий опір 587 – 545 МПа, умовна границя текучості 199-225 МПа, відносне видовження 46-58 %; відносне звуження 62-75 %.

Сталь 12Х18Н10Т не схильна до міжкристалічної корозії.

Проведення досліджень на зразках сталі 12Х18Н10Т з нанесеним на них захисним покриттям шляхом комплексного насичення поверхні хромом та кремнієм показали, що зносостійкість матеріалу в умовах тертя зростає, в порівнянні зі зносостійкістю вихідного матеріалу – основи у 1,5 – 1,7 рази.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Теоретична частина

Якби не була обрана модель формування ціни на науково-дослідну роботу, будь-яка ціна розраховується на основі собівартості розробки. Навіть у випадку, коли ринкова ціна на власну комерційну розробку визначається на основі вивчення ринку, питання калькуляції собівартості є першорядним для розрахунку прибутку, визначення рентабельності роботи.

При визначенні собівартості науково-дослідної роботи, прийнято виділяти наступні види витрат (статті витрат):

1. Матеріали.

Витрати за статтею «Матеріали» розраховуються, виходячи з даних про кількість використуваних матеріалів, цінах на різні види матеріалів, кількість і ціну зворотних відходів. У розшифровку витрат за цією статтею включаються відомості про кількість матеріалів і ціну, за якою вони були придбані. При цьому витрати підтверджуються договорами поставки матеріалів, рахунками, накладними та іншими фінансовими документами. Якщо матеріали вже були у виконавця, вони оцінюються за ринковою ціною, що існувала на час їх використання. Витрата матеріалів підтверджується матеріальною специфікацією.

При використанні корегованої моделі ціни, витрати на матеріали перераховуються відповідно до реальних, документально підтверджених витрат виконавця. В іншому випадку, для того, щоб врахувати зростання цін на матеріали, в договір може бути внесений пункт про те, що вони закуповуються замовником науково-дослідної роботи і передаються виконавцю для виконання роботи (давальницький матеріал). Це дозволяє замовнику контролювати ціну і якість закуповуваного матеріалу. Така система використовується також у разі, коли для виконання науково-

дослідної роботи необхідний рідкісний, специфічний матеріал, зв'язок з виробником якого має замовник, але не має виконавець.

2. Спеціальне обладнання для наукових (експериментальних) робіт.

Під спеціальним мається на увазі обладнання та вимірювальні прилади, що спеціально купуються або створюються для виконання даної науково-дослідної роботи. Після виконання робіт, для яких і за рахунок яких було придбано спеціальне обладнання, воно може бути:

- передано замовнику;
- залишено на відповідальному зберіганні у виконавця для виконання інших робіт, що фінансуються тим же замовником (в цьому випадку його ціна вже не входить до складу витрат за наступними замовленнями);
- передано виконавцю за залишковою вартістю (за згодою останнього).

3. Робота машин і механізмів.

Витрати розраховуються виходячи з кількості потрібних годин часу роботи машин і механізмів та ціни однієї години машинного часу. Часто такі витрати не виділяють в окрему статтю витрат, а враховують в складі інших статей:

- оплату праці обслуговуючого персоналу, додаткова заробітна плата та відрахування з фонду оплати праці – в складі відповідних статей кошторису;
- витрати на утримання, експлуатацію та поточний ремонт машинного парку, його амортизацію, енергопостачання та придбання пально-мастильних матеріалів – в складі накладних витрат.

4. Оплата праці.

Витрати з оплати праці виробничих робітників та інженерно-технічних працівників (ІТП) розраховується на основі трудомісткості робіт. У тому випадку, коли відомо і не заперечується сторонами точна необхідна кількість і кваліфікація кожного працівника, витрати на оплату праці можуть бути визначені прямим рахунком виходячи з кількості задіяних

співробітників, їх тарифних розрядів і преміальних коефіцієнтів, кількості нормо-годин кожного працівника.

5. Додаткова заробітна плата.

У поняття «додаткова заробітна плата» включаються виплати працівникам підприємства, не обумовлені безпосереднім виконанням трудових обов'язків (відпускні; надбавки за вислугу років; виплати за підсумками року; оплата додаткових відпусток працівникам шкідливих виробництв; доплати працівникам, які не досягли 18 років; надбавки за роботу в другу і третю зміни і т. п.). Витрати на додаткову заробітну плату розраховуються виходячи з фонду оплати праці по даній науково-дослідній роботі і нормативу додаткової заробітної плати, що встановлюється в цілому по підприємству на підставі даних про її розмірах за минулий період.

6. Обов'язкові відрахування з фонду оплати праці.

Страхові внески до фондів державного страхування за ставкою, яка встановлюється законодавством в процентах від фонду оплати праці (як за основною, так і по додатковій заробітній платі).

7. Витрати на відрядження.

Витрати на відрядження складаються з оплати відрядженим працівникам добових, проїзду до місця відрядження і назад і проживання. До кошторисі договірної ціни додається розшифровка витрат на відрядження, де вказується кількість відряджень, місце призначення, кількість співробітників, відряджених в кожне місце призначення.

8. Накладні витрати.

До накладних витрат відносять витрати, які не мають прямого відношення до виконання конкретної науково-дослідної роботи, але забезпечують функціонування підприємства в цілому. До складу накладних витрат можуть входити:

- загальновиробничі витрати.
- загальноорганізаційні витрати.

- амортизаційні відрахування на повне відновлення основних засобів.

Накладні витрати розраховуються у відсотках від фонду оплати праці по даній науково-дослідній роботі. При цьому величина процентного нормативу визначається виходячи з даних минулого періоду як частка від ділення загальної суми накладних витрат за період на загальну величину фонду оплати праці підприємства. Процентний норматив накладних витрат встановлюється єдиним для підприємства-виконавця на певний період і застосовується для всіх науково-дослідних робіт.

Таким чином, собівартість науково-дослідної роботи складається з перерахованих видів витрат. При цьому статті витрат:

- матеріали,
- спеціальне обладнання,
- робота машин і механізмів,
- роботи, які виконують сторонні підприємства та організаціями,
- витрати на відрядження - можуть і не враховуватися в кошторисі, якщо характер роботи не передбачає відповідних витрат.

У разі, коли договірна ціна формується як фіксована, за угодою сторін може бути введена додаткова стаття витрат «Непередбачені витрати», формується як відсоток від собівартості науково-дослідної роботи [38].

4.2 Практична частина

Загальна формула для розрахунку витрат на науково-дослідну роботу:

$$V_{нд} = V_{матер.} + V_{доп.матер.} + V_{електр.} + A_{обл.} + V_{робіт.} + V_{прац.} \quad (4.1)$$

В таблиці 4.1 приведений кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи.

Витрати на основні матеріали, включають в себе покупні вироби і матеріали, що досліджуються. Ціна за 1 кг круга Ø210 мм сталі 12Х18Н10Т становить:

$$V_{матер.} = 120,00 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали включають витрати на кислоту для травлення зразків, матеріали для проведення випробувань на стійкість до МКК та інші матеріали, що використовуються безпосередньо при проведенні досліджень.

Матеріали для приготування шихти для карбюратора:

– хром порошковий необхідна вага 500 г, вартість якого становить 156,00 грн;

– феросиліцій ФС 70 необхідна вага 33,3 г, вартість якого становить 17,9 грн;

– оксид алюмінію необхідна вага 400 г, вартість якого становить 250,00 грн;

Плавикова кислота для травлення зразків 200 мг ставить 50,00 грн.

Контейнер для ХТО – вартість становить 1000,00 грн.

Сірчана кислота для травлення зразків 200 мг – вартість становить 63,00 грн.

Таблиця 4.1.

Кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати	Сума, грн	Позначення
Основні матеріали:		$V_{\text{матер}}$
Круг Ø210 мм, сталь 12Х18Н10Т 1кг	120,00	
Допоміжні матеріали:		$V_{\text{доп.матер}}$
Хром порошковий (500 г) феро-хром	156,00	
Феросиліцій ФС70 (33,3 г)	17,90	
Оксид алюмінію (400 г)	250,00	
Плавикова кислота (200 мг)	50,00	
Контейнер	1000,00	
Сірчана кислота - 200 мг	63,00	
Мідний купорос 5-водна 0,5 кг	82,00	
Реагенти для насичення хромом	200,00	

Електроенергія	3274,32	V _{електр}
Спеціальне устаткування Коефіцієнт амортизації на електричну піч	255,15	A _{обл}
Металографічні дослідження структури (абразивні круги, нождачний папір, полірувальна тканина, реактиви і т.д.)	1380,00	V _{робіт}
Випробування на розтяг з визначенням σ_T ; σ_B ; δ ; ψ	1680,00	
Випробування твердості за Брінелем	60,00	
Випробування мікротвердості	1740,00	
Випробування на стійкість до МКК	1218,00	
Заробітна плата працівника	4700,00	V _{прац.}

Мідний купорос (мідь сірчаноокисла) 5-водна 0,5кг для проведення випробувань на стійкість до МКК – вартість становить 82,00 грн.

Реагенти для насичення хромом – вартість становить 200,00 грн.

Загальна вартість:

$$V_{\text{доп.матер.}} = 156,00 + 17,90 + 250,00 + 50,00 + 1000,00 + 63,00 + 82,00 + 200,00 = 1620,90 \text{ грн.}$$

Електроенергія.

Вартість 1 кВт = 1,68 грн. Потужність електричної печі становить 11,6 кВт.

Вартість роботи печі грн/год. $11,6 \times 1,68 = 19,49$ грн.

Загальна вартість електроенергії за 168 год. роботи печі:

$$V_{\text{енерг.}} = 19,49 \times 168 = 3274,32 \text{ грн.}$$

Витрати на спеціальне обладнання включають витрати на придбання його для виконання даної роботи.

Коефіцієнт амортизації на електричну піч.

Оцінка технологічного обладнання 35000 грн., період експлуатації 96 місяців (8 років).

Норма амортизування = $100\%:8 = 12,5\%$ на рік.

Сума = $35000 \times 12,5\%: 100\% = 4375$ грн. на рік.

Амортизаційні відрахування щомісяця = $4375:12 = 364,59$ грн.

Амортизаційні відрахування на один день = $364,59:30 = 12,15$, а на виконання науково-дослідної роботи 21 днів:

$A_{\text{обл.}} = 12,15 \times 21 = 255,15$ грн.

Металографічний аналіз 1 шт. мікрошліфа становить 230,00 грн :

- абразивний круг становить 60,00 грн;
- шліфувальний папір 10 шт., ціна за 1 шт. 10 грн, $10 \times 10=100,00$ грн;
- абразивна паста: паста Гоі становить 60,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 10,00 грн.

Загальна сума, витрачена на металографічні дослідження 6 шт. становить $6 \times 230=1380,00$ грн.

Випробування на розтяг з визначенням σ_T ; σ_B ; δ ; ψ 1 шт. становить 280,00 грн.

- різець токарний – 130,00 грн;
- полотна стрічкопильні – 120,00 грн;
- електроенергія використана при виготовленні зразків та випробування на розтяг 30,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування на розтяг становить $6 \times 280=1680,00$ грн.

Випробування твердості за Брінелем 1 шт. становить 10,00 грн., для дослідження 6 шт.:

- абразивний круг – 8,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з твердоміром становить 2,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування твердості за Брінелем становить $6 \times 10 = 60,00$ грн.

Випробування мікротвердості на ПМТ-3

Для виготовлення шліфа потрібні: абразивний круг; шліфувальний папір; абразивна паста; електроенергія використана при роботі з мікроскопом.

Ціни на матеріали для металографічного аналізу: абразивний круг – 120,00 грн; шліфувальний папір 10 шт., ціна за 1 шт. 10,00 грн, $10 \times 10 = 100,00$ грн; абразивна паста: паста гої – 60,00 грн; електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 10,00 грн.

Виготовлення одного мікрошліфа = 290,00 грн.

Загальна сума дослідження мікротвердості $6 \times 290 = 1740,00$ грн.

Випробування на стійкість до МКК 1 шт. становить 203,00 грн., для дослідження 6 шт.:

- полотна стрічкопильні – 120,00 грн;
- абразивний круг становить 48,00 грн (6 шт);
- шліфувальний папір 10,00 грн;
- електроенергія використана при роботі з розривною машиною становить 25,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування на розтяг становить $6 \times 203 = 1218,00$ грн.

$V_{\text{робіт}} = 1380 + 1680 + 60 + 1218 = 4338,00$ грн.

Заробітна плата працівника за 21 робочий день випробувань становить:

$V_{\text{прац.}} = 4700$ грн. Згідно до п.5 ст. 38 Бюджетного кодексу України, розмір мінімальної заробітної плати визначається в законі про Державний бюджет на відповідний рік.

Загальний підсумок розрахунку витрат на науково-дослідну роботу:

$V_{\text{нд}} = V_{\text{матер.}} + V_{\text{доп.матер.}} + V_{\text{електр.}} + A_{\text{обл.}} + V_{\text{робіт}} + V_{\text{прац.}} =$

= 120 + 1275,90 + 3274,32 + 255,15 + 4338 + 4700 = 13963,37 грн.
(тринадцять тисяч дев'ятьсот шістьдесят три гривнітридцять сім копійок).

Висновки

Науково-технічна продукція, останнім часом, користується попитом, оскільки вона безпосередньо пов'язана, з одного боку, з вдосконаленням і розвитком діючих виробництв з метою підвищення їх технічного рівня та економічної ефективності, а з іншого боку – з оновленням випускної продукції, з налагодженням виробництва нових конкурентно спроможних виробів.

При розрахунку витрат на науково-дослідну роботу було враховано кількість усіх основних матеріалів; допоміжних матеріалів; витрати на електроенергію; спеціальне устаткування; металографічні дослідження та випробування, а також на заробітну плату для працівника.

Згідно з даними розрахунків, що актуальні на момент написання кваліфікаційної роботи магістра, було встановлено цінність матеріалів використаних в дослідженні (основних і допоміжних) та інших витрат та розраховано загальну вартість витрат в ході проведення науково-дослідної роботи, що в підсумку становить 13963,37 грн. (тринадцять тисяч дев'ятьсот шістьдесят три гривнітридцять сім копійок).

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

При виконанні процесів термічної і хіміко-термічної обробки повинні бути передбачені заходи що до захисту працюючих від можливої дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів за ГОСТ 12.0.003-2015 [39].

Концентрації речовин, що володіють шкідливими властивостями, і рівні фізично небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати значень, встановлених санітарними нормами.

Виробниче обладнання термічних дільниць повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91 і цього стандарту [40].

Працюючі в термічних цехах повинні використовувати засоби індивідуального захисту, що відповідають вимогам [41].

5.1 Вимоги до технологічних процесів

При розробці технологічних процесів термічної обробки металів необхідно враховувати вимоги ГОСТ 12.3.002-2014 і дотримуватись цього стандарту [42].

З метою контролю підготовки виробів до термічної обробки, та регулювання процесів термічної обробки металів (температури, тиску в робочому просторі печі, вміст компонентів в газовому середовищі і т.д.) необхідно застосовувати блокування, а також засоби світлової і звукової сигналізації про порушення технологічного процесу, що можуть призвести до виникнення аварій.

При підготовці виробів і деталей до термічної обробки (нанесення захисних паст, травлення, знежирення тощо) і при проведенні термічної обробки з застосуванням речовин, що володіють токсичними, пожежо-та вибухонебезпечними властивостями (гасу, масел, розплавів солей і металів, рідких середовищ), що застосовуються при гартуванні і відпуску, повинна бути виключена можливість впливу цих речовин на працюючих.

При виконанні робіт з застосовуваними рідкими матеріалами, для гартування і відпуску, необхідно дотримуватися вимоги пожежної безпеки.

Гарячі деталі та вироби, що пройшли процес термічної обробки необхідно розміщувати в місцях, обладнаних ефективною витяжною вентиляцією або пристроями.

Місця з можливим виділенням в повітряне середовище виробничих приміщень речовин, що володіють токсичними, пожежо- та вибухонебезпечними властивостями, та пилу, повинні бути забезпечені механічною витяжною вентиляцією у вибухозахищеному виконанні.

При розробці технологічних процесів термічної і хіміко-термічної обробки металів, мають бути заздалегідь продумані оптимальні режими роботи обладнання, що забезпечують: безперервність технологічних процесів; раціональний ритм роботи працівників, що виконують окремі технологічні операції; виключення можливості створення аварійних ситуацій.

Система газопроводів та їх елементів на термічних дільницях повинна бути виконана згідно до вимог діючих будівельних норм і правил, затверджених у встановленому порядку.

Система газопроводів перед заповненням їх горючими газами і сумішами повинна бути продута негорючими або інертними газами при підвищеному тиску [42].

Газопроводи повинні бути пофарбовані згідно з [43].

У разі виникнення аварійних ситуацій під час проходження технологічного процесу (перегрів гартівного середовища, виявлення в повітрі шкідливих речовин, гранично допустима концентрація яких не повинна перевищувати норм, припинення подачі повітря до форсунки газового пальника термічної печі тощо) роботу необхідно негайно припинити і застосувати заходи для усунення аварійної ситуації. Продовжити ведення

технологічного процесу можна тільки після того, як буде з'ясована причина, що створила аварійну ситуацію та прийняті заходи по її усуненню.

5.2 Вимоги до виробничих приміщень

Ділянка для травлення металів, а також ділянки підготовки твердих карбюраторів, дифузійної металізації і борування, якщо вони розташовані поза потоком, повинні бути відокремлені від інших дільниць (цехів) термічної обробки металів.

Повітроводи від місцевих відсмоктувачів повинні очищуватися від пилу, щоб в приміщенні кількість зваженого в повітрі пилу не могла утворити вибухонебезпечну пилоповітряну суміш в обсязі понад 1% обсягу приміщень.

5.3 Вимоги до технологічних матеріалів

В нагрівальних пристроях повинні застосовуватися газ або електрична енергія. Застосування твердого та рідкого палива допускається в технічно обгрунтованих випадках.

При термічній і хіміко-термічній обробці повинні застосовуватися тільки ті масла, кислоти, солі, луги та інші хімічні речовини, на які затверджена нормативно-технічна документація.

При термічній обробці металів необхідно застосовувати пожежобезпечні рідини та матеріали. В окремих випадках за погодженням з органами пожежного нагляду можуть застосовуватися горючі рідини.

Застосування отруйних солей можливе тільки в технічно обгрунтованих випадках і за погодженням з органами Державного санітарного нагляду.

Отруйні солі для термічної обробки повинні використовуватися в гранульованому вигляді. Використання отруйних солей в порошках допускається з дозволу органів Державного санітарного нагляду.

Застосування розплавів калійної і натрієвої селітри як нагрівальних середовищ при гартуванні легких сплавів допускається у виняткових, технічно обґрунтованих випадках за погодженням з органами пожежного нагляду.

Застосування нових видів палива, нагрівальних та охолоджувальних середовищ, захисних середовищ, нових карбюраторів та інших хімічних речовин допускається тільки після узгодження з органами Державного санітарного нагляду.

5.4 Вимоги до розміщення виробничого обладнання

Гартівні масляні ванни повинні мати ємності для повного зливу масла. Сполучні мастилопроводи повинні бути розрахованими з умови можливості зливу масла з бака в разі аварії не більш ніж за 10 хв. Гартівні масляні ванни повинні бути обладнані елементами пожежогасіння.

Установки для приготування газової суміші слід розміщувати в одному приміщенні з печами, що споживають газові атмосфери, або в окремому приміщенні.

Гартівні баки, соляні ванни, шахтні печі, встановлені в приямках, повинні виступати над рівнем підлоги на висоту 1,0 м. У разі меншої висоти таке устаткування повинно бути обгороджене бар'єром.

Робочі частини нагрівальних печей та інших термічних агрегатів, а також обладнання для їх обслуговування (маніпулятори, кантовочні апарати і т.п.) повинні бути обладнані пристроями та пристосуваннями для захисту від працівників теплового опромінення. Температура нагрітих поверхонь обладнання і огорожень не повинна перевищувати значень, встановлених діючими санітарними нормами.

Інтенсивність теплового опромінення на робочих місцях не повинна перевищувати 300 ккал/м².

5.5 Вимоги до зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва

Транспортування виробів до термічних дільниць для проведення термічної обробки, а також мастил, кислот, лугів та інших хімічних матеріалів, що застосовуються при підготовці виробів до термічної обробки і беруть участь у її процесах, повинно здійснюватися способами, які унеможливають травматизм, фізичне перенапруження, можливості інтоксикації, забруднення тіла та одягу працюючих, а також забруднення приміщення і повітря в них.

Тара, яка використовується для транспортування сильнодіючих отруйних речовин, після спорожнення повинна зберігатися в спеціально відведених місцях.

Завантаження виробів і деталей масою більше 20 кг на транспортні засоби повинне здійснюватися вантажно-підймальними пристроями (крани, талі, електрокари та ін.).

Збір, сортування і короткочасне зберігання відходів, що утворилися при термічній і хіміко-термічній обробці металів, повинні проводитися в термічних цехах і дільницях у спеціально відведених для цього місцях.

Відходи, що містять сильнодіючі отруйні речовини, слід зберігати в спеціальних ізольованих приміщеннях, в ємностях (бункерах, чанах і т.п.), що виключають забруднення ґрунту, підземних вод, атмосферного повітря.

Видалення твердих відходів, злив відпрацьованих кислотних, лужних та інших розчинів, що володіють токсичними властивостями, слід проводити після їх нейтралізації відповідно до норм і правил, затверджених Міністерством охорони здоров'я.

Вироби, для яких застосовують термічну обробку, хімічні та інші матеріали, що використовують для термічної обробки металів, та підготовки їх до термічної обробки, повинні зберігатися в спеціально відведених для цього приміщеннях або майданчиках.

5.6 Вимоги до персоналу термічних дільниць

Робітники та інженерно-технічний персонал повинні проходити медичний огляд при працевлаштуванні та повторно, відповідно з порядком встановленим Міністерством охорони здоров'я.

Програма для навчання робітників термічних цехів повинна складатися на основі типових програм, що затверджуються відповідними міністерствами.

Всі робітники, службовці та інженерно-технічні працівники термічних цехів і дільниць повинні пройти інструктаж з безпеки праці та пожежної безпеки:

вступний - при працевлаштуванні;

первинний - на робочому місці;

повторний – раз в квартал (три місяці);

позаплановий - при порушенні вимог безпеки праці та нещасних випадків на підприємстві.

До експлуатації обладнання, що працює з газовими атмосферами і горючими газами, а також обладнання, яке споживає струми високої частоти (СВЧ), допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання і перевірку знань та мають відповідні посвідчення.

Для осіб, які працюють з газовою атмосферою і газоприготувальними установками, електричними печами і установками СВЧ, а також виконують різні інші роботи підвищеної небезпеки, встановлюється періодична, не рідше одного разу на рік перевірка знань з безпечного виконання робіт, що проводиться комісією, яка затверджується керівником підприємства.

5.7 Вимоги до застосування засобів захисту працюючих

Основними засобами індивідуального захисту працівників під час умов виконання процесів термічної обробки є: спеціальне взуття та одяг, окуляри, респіратори. Для захисту шкірних покривів і профілактики шкірних захворювань застосовують захисні дерматологічні засоби: пасти, мазі, спеціальні миючі засоби [42].

Засоби індивідуального захисту, що застосовуються працівниками при термообробці металів, повинні задовольняти вимоги відповідних стандартів безпеки праці по конкретних видах захисту. Засоби індивідуального захисту повинні мати сертифікат виготовлювача. Класифікація і загальні вимоги до засобів захисту працівників наведені в ГОСТ 12.4.011-89 [41].

Керівники термічних дільниць повинні періодично інструктувати працівників щодо правильного застосування засобів індивідуального захисту і догляду за ними [41].

5.8 Контроль виконання вимог безпеки термічного обладнання

Приміщення термічних цехів та термічне устаткування повинні бути оснащені контрольно-вимірювальними приладами контролю рівнів небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть виникнути.

Системи управління і контролю процесами термічної і хіміко-термічної обробки повинні мати вільний і безпечний доступ до їх елементів для обслуговування і ремонту.

Захисно-запобіжна, регулююча та запірна арматура, а також системи автоматики термічного устаткування повинні перевірятися з метою визначення справності і в строки, встановлені нормативно-технічною документацією на відповідні механізми та прилади.

У термічних цехах та дільницях на газопроводах та лініях подачі стиснутого повітря в легкодоступних місцях повинні бути встановлені

швидкодіючі відсікаючі пристрої для можливості локалізації дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

При використанні газів, що володіють небезпечними і шкідливими властивостями, слід здійснювати контроль роботи витяжних вентиляційних пристроїв і систем сигналізації.

Щоб уникати виплесків масла і його займання при експлуатації гартівних баків необхідно контролювати рівень масла в них, а також справність пристроїв для аварійного зливу масла і сигналізаторів перегріву.

Гартівні масла повинні щотижня піддаватися контролю на вміст у них води. Виявлена вода повинна бути вилучена.

5.9 Екологізація виробництва

Для зменшення забрудненості атмосфери шкідливими речовинами влаштовують системи газовловлювання та газоочищення, використовують гази, що містять CO і вуглеводні, для технологічних цілей, регулюють склад атмосфери (електропечі опору з контрольованою атмосферою тощо), замінюють процеси з великим газовиділенням. Очищення газів проводиться абсорбційними, адсорбційними і каталітичними методами.

Разом з газами і паливом під час процесу термообробки в атмосферу вивільняється значна кількість пилу. Для зменшення забруднення атмосферного повітря (особливо при викиді відведених промислових газів), для технологічної підготовки газів і вилучення з газів корисних матеріалів термічні дільниці оснащують пиловловлювачами, вбудованими в основне обладнання чи виносне.

Термічне устаткування є великим споживачем води, що витрачається для охолодження елементів печей і пристроїв. Для доцільного використання води з джерел і забезпечення її якості та очищення доцільно використання систем оборотного водопостачання.

Особлива увага повинна звертатися на знешкодження стічних вод, в яких можуть знаходитися отруйні речовини. Після реагентної обробки, відстоювання і в деяких випадках фільтрування, стічні води зазвичай зливають в загально-побутову каналізацію. Для відстоювання стічних вод можуть застосовуватися горизонтальні і вертикальні відстійники з тривалістю відстоювання не менше 2 годин.

В основі законодавства в області санітарної охорони водойм лежать «Правила охорони поверхневих водойм від забруднення стічними водами». Розрахункові методи встановлення умов допустимості скидання зі стічними водами промислових підприємств будь-яких забруднень спираються, зокрема, на ГДК шкідливих речовин у воді водойм.

Висновки

1. Проаналізовано потенційні небезпеки і шкідливі фактори на виробництві.
2. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень, технологічних матеріалів, розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва, вимоги до персоналу і до застосування засобів захисту працюючих.
3. Описані заходи щодо забезпечення безпеки праці та розглянуто вплив шкідливих факторів на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи були опрацьовані та проаналізовані інформаційні джерела з дослідження технологій дифузійного насичення сталі 12X18H10T: технічна література, наукові статті та патенти.

Встановлена перспективність ХТО сталі 12X18H10T в якості захисного покриття

Визначено, що досліджувані зразки сталі 12X18H10T відносяться до перехідного структурного класу: аустеніт та ферит. Частка фериту становить 4,51 %.

Реалізовано хіміко-термічну обробку сталі 12X18H10T в твердофазному карбюризаторі (30 % FeCr, FeSi, Al₂O₃, NH₄Cl) за температури 1050 °C впродовж 10 годин.

Металографічним аналізом встановлено формування захисного покриття - біла, непротравлена зона. Під захисним покриттям розташовується більш темна, перехідна зона.

Відмічається поступове зменшення мікротвердості від покриття до основи. Максимальна мікротвердість становить 3,5 ГПа. Макротвердість основи вар'юється в межах 155-171 НВ. Максимальне значення тимчасового опору становить 587 МПа, мінімальне – 545 МПа, умовна границя текучості вар'юється в діапазоні 199-225 МПа, відносне видовження становить 46-58 %; відносне звуження 62-75 %.

Відмічається, що всі зразки сталі 12X18H10T не схильні до міжкристалічної корозії.

Визначено, що хромосіліціювання сталі 12X18H10T призводить до підвищення зносостійкості в умовах тертя ковзання без змащування в 1,5-1,7 рази.

Розраховано економічну ефективність наукового дослідження. Встановлено, що загальна вартість витрат науково-дослідної роботи

становить 13963,37 грн. (тринадцять тисяч дев'ятьсот шістьдесят три гривні тридцять сім копійок).

Передбачені заходи що до захисту працюючих від можливої дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів, тому в розділі з охорони праці встановлені вимоги до виконання технологічних процесів, засобів захисту, матеріалів, технологічних приміщень та екології для попередження нещасних випадків та аварій.

САНДІ

ЛІТЕРАТУРА

1. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошин, Г.Г. Панич, Э.Д. Щербаков // Наука и техника. – 1988. – 288 с.
2. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями /А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
3. Д.В. Колмыков, А.Н. Гончаров, Комбинированные методы упрочнения, Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. – 46-50 с.
4. А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденев, С.Г. Иванов, О.А. Власова, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев, С.А. Земляков Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия. 2008 – 10-16 с.
5. С.О. Джимо, А.В. Лозович, С.А. Загайнов. Исследование возможности управления тепловой работой периферийной зоны доменной печи. Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Россия, г. Екатеринбург. 2014 – 66-67 с.
6. М.В. Аршук, А.В. Микитчик, В.Г. Хижняк, М.В. Карпец., Титаноалюминидные покрытия на стали 12Х18Н10Т с барьерным слоем нитрида титана. НТУУ «Киевский политехнический институт» Междунар. центр электронно-лучевых технологий ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев. 2011 – 50.
7. В.Г. Хижняк, М.В. Аршук, Т.В. Лоскутова, М.В. Карпец., Дифузійні покриття за участю титану і алюмінію на азотованій сталі 12Х18Н10Т. НТУУ «КПІ». Київ, 2011 – 118-122 с.
8. В.Г. Хижняк, М.В. Аршук, М.В. Карпец. Фізика і хімія твердого тіла. Т.12, №3. НТУУ «КПІ», Київ, 2011 – 757-761с.
9. Бурнышев И. Н., Валиахметова О. М., Мутагарова С. А., Институт прикладной механики УрО РАН. 2007 – 125 с.

10. Г.В. Борисёвок, Е.А. Куликовский, Е.И. Соколовский, В.Г. Борисов Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов., 1965.
11. А.В. Сивенков. Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов. /Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург. 2014. – 244-248 с.
12. В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч.1. Випробування металів. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 53 с.
13. Т.Г. Иванова, А.М. Гурьев, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». Барнаул – 2015.
14. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, И.И. Заец, А.А. Быков. Влияние состава шихты на физико-химические свойства диффузионного слоя. Интегрированные технологии и энергосбережение. 2004.
15. И.А. Басалай, Л.Ф. Павловская, Н.И. Урбанович. Оптимизация условий получения защитных покрытий, устойчивых к высокотемпературному окислению. Белорусский национальный технический университет, г Минск. Беларусь. 2013. – 68-75 с.
16. Дорофеев Ю.Г, Маринепко Л.Г, Устименко В.И. Конструкционные порошковые материалы и изделия. М.: Металлургия, 1986. – 296 с.
17. Сорокин В. Г., Гервасьев М. А. Стали и сплавы. Марочник / В. Г. Сорокин, М. А. Гервасьев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с.
18. Klueh R.L., Harries D.R. High-chromium ferritic and martensitic steels for nuclear applications. ASTM, West Conshohocken, PA, 2001, p. 220
19. Кульпіна О.В Глотка О.А Дослідження причин руйнування поковки зі сталі 12Х18Н10Т. Запоріжжя. 2020.
20. Иванов, О.А., Гурьев С. А., Лыгденов С.Г., Власова Е.А., Кошелева, М.А. Земляков. Новый способ диффузионного термоциклического

упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов / О.А. Иванов, С.А. Гурьев. – Х.: ХНАГХ, 2008. – 5-7с

21. Герасимов С. А. Технология термической и химико-термической обработки / С. А. Герасимов – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 60 с.

22. Ворошнин Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Смешин. – М. : Новое знание; Минск : Новое знание, 2010. – 304 с.

23. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, И.И. ЗАЕЦ, А.А. БЫКОВ. Влияние состава шихты на физико-химические свойства диффузионного слоя. Интегрированные технологии и энергосбережение. 2004

24. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников

25. Мікроаналіз металів і сплавів [Електронний ресурс]. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shapovalova_materialoznavstvo/2.htm

26. ГОСТ 1497-84. Методы испытаний на растяжение. ИПК Издательство стандартов, 1997 г.

27. М.М. Хрущев, Е.С. Беркович. Приборы ПМТ-2 и ПМТ-3 для испытаний на микротвёрдость. – М.: Издательство АН СССР, 1950. – 62 с.

28. В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч.1. Випробування металів. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 53 с.

29. ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. – Часть 1. Метод измерения. – М. : Стандартиформ, 2008. – 19 с.

30. ГОСТ Р ИСО 6507-2-2009. Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. – Часть 2. Поверка и калибровка твердомеров. – М.: Стандартиформ, 2010. – 24 с.

31. Методичний посібник до лабораторних робіт з опору матеріалів (для студентів усіх спеціальностей) / Ф.Л.Шевченко, О.Г. Татяниченко, С.М. Царенко, В.М. Савенков, О.М. Картунов, Л.В. Оберемок - Донецьк: ДонНТУ, 2014. – 66с.
32. Гурняк Л.І. Опір матеріалів / Л.І.Гурняк, Ю.В. Гуцуляк, Т.В. Юзків - Львів: "Новий світ - 2000", 2006. - 364с.
33. ГОСТ 1497-84 (ISO 6892-84) Металлы. Методы испытаний на растяжение. - Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1984. – 28 с.
34. ГОСТ 6032-89 Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии. – М. : Гос. ком. СССР по тандартам, 1990. – 42 с.
35. Карпенко В.И. Определение склонности металлических образцов к межкристаллитной коррозии: Руководство к лабораторной работе/ В.И. Карпенко. - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2011. – 14 с
36. ГОСТ 6032-2017 (ISO 3651-1:1998, ISO 3651-2:1998) Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии.
37. В.О. Пчелінцев, Т.П. Говорун, В.М. Раб, Х.В. Берладір. Термоциклічна обробка вала зі сталі 40Х відцентрового насоса. Сумський державний університет, м. Суми, 2012.
38. Салимжанов И. К. Ценообразование, учебник 2-е изд., М.: КноРус, 2007.
39. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
40. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
41. ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

42. ГОСТ 12.3.002-2014 Процессы производственные. Общие требования безопасности.

43. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.

САМД