

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ К.О. Дядюра

«__» _____ 2018 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: « Дослідження впливу дифузійної металізації (хромосиліціювання) на жаростійкість труб інжектора паливного котла»

Студентка гр. МТ.м-71 _____ Дудченко В.В.

Керівник _____ Харченко Н.А.

Консультант
з економічної частини _____ Дядюра К.О.

Консультант
з охорони праці _____ Говорун Т.П.

Нормоконтроль _____ Дядюра К.О.

Суми 2018

Анотація

Дудченко Віталіна Вікторівна. Дослідження впливу дифузійної металізації (хромосиліціювання) на жаростійкість труб інжектора паливного котла – **Рукопис.**

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2018.

Робота присвячена дослідженню впливу дифузійної металізації (хромосиліціювання) на жаростійкість труб інжектора паливного котла.

Підвищення експлуатаційних властивостей, а саме підвищення жаростійкості матеріалу трубок теплообмінника може бути здійснено двома шляхами. Перший полягає в заміні сталі 12X18H10T, працюючій в необробленому вигляді при температурах ~ 850 °С, на високо хромисту сталь 15X25T, що працює при температурі > 1050 °С. Другий шлях підвищення жаростійкості трубок теплообмінника проведення дифузійної металізації для поверхневого шару трубок, що контактують з окислювальним середовищем при підвищеній температурі. Для підвищення жаростійкості шляхом дифузійної металізації, рекомендується проводити хромосиліціювання в порошкоподібному твердому карбюризаторі в герметичних контейнерах. Для уточнення мікроструктури поверхневого шару слід провести, крім металографічного аналізу, ще й структурно-фазовий аналіз на фазовому аналізаторі - ДРОН-4-07. Для збільшення точності експерименту на жаростійкість на 3-х зразках, з витримкою 25, 65, 100 годин, при температурах випробування 800 і 1000 °С

Ключові слова: ІНЖЕКТОР ТЕПЛООБМІННИКА, 12X18H10T, ЖАРОСТІЙКІСТЬ, ХРОМОСИЛЦІЮВАННЯ.

ABSTRACT

Dudchenko V.V. Investigation of the influence of diffusion metallization (chromosylation) on the heat resistance of fuel injector pipes – **The manuscript.**

Qualifying paper for obtaining the qualification of Master's degree in the specialty 132 – applied materials science. – Sumy State University, Sumy, 2018.

The paper is devoted to the study of the influence of diffusion metallization (chromosylation) on the heat resistance of the injector pipes of the fuel boiler.

Improvement of operational properties, namely increasing the heat resistance of the material of the heat exchanger tubes, can be accomplished in two ways. The first is to replace the steel 12X18N10T, working in a rough form at temperatures of ~ 850 °C, on a high-chromium steel 15X25T, operating at a temperature of > 1050 °C. The second way to increase the heat resistance of the heat exchanger tubes is to conduct diffusion metallization for the surface layer of tubes in contact with the oxidizing medium at elevated temperatures. In order to increase the heat resistance through diffusion metallization, it is recommended that chromosilylation be performed in a powder-like solid carburizer in sealed containers. In order to clarify the microstructure of the surface layer, in addition to the metallographic analysis, also the structural-phase analysis on the phase analyzer - DRON-4-07. To increase the accuracy of the experiment on heat resistance on 3 samples, with a 25, 65, 100 hour exposure, at test temperatures of 800 and 1000 °C.

Keywords: INHIBITOR OF HEAT EXCHANGER, 12X18N10T, RELIABILITY, CHROMOSILATION.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 73 сторінок, у тому числі 11 таблиць, 6 рисунків, бібліографії із 44 літературних джерел на 4-х сторінках.

Мета роботи – підвищення експлуатаційних властивостей трубок теплообмінника.

Задачі досліджень :

- провести патентно-літературний аналіз теорії дифузії хіміко-термічної обробки (хромосиліціювання) та жаростійкості матеріалів;
- підібрати склад карбюризатора для твёрдосної дифузійної металізації в порошкових сумішах і герметичних контейнерах;
- провести хромосиліціювання зразків трубок теплообмінника;
- провести випробування зразків на жаростійкість та порівняти результати випробувань зразків після хромосиліціювання і без обробки;
- зробити висновки про проведену роботу і дати рекомендації.

Об'єкт дослідження – вплив хромосиліціювання на жаростійкість трубок теплообмінника (інжектора).

Предмет дослідження – трубки теплообмінника із корозійностійкої, високоякісної, високолегованої сталі 12Х18Н10Т.

Методи досліджень – метод насичення поверхневого шару зразків в порошковому карбюризаторі в герметичних контейнерах, ваговий метод визначення жаростійкості металів і сплавів по збільшенню маси зразки по ГОСТ 6130 – 71.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведення експерименту для визначення жаростійкості. Хромосиліціювання на високолегованих сталях практично не досліджували і не застосовували. В роботі розроблені та опробовані нові процеси ХТО і склади карбюризаторів для хромосиліціювання аустенітних жаростійких сталей, що дозволило підвищити жаростійкість аустенітної сталі 12Х18Н10Т в 1,5-2,0 рази.

ІНЖЕКТОР ТЕПЛООБМІННИКА, 12Х18Н10Т, ЖАРОСТІЙКІСТЬ, ХРОМОСИЛЦІЮВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1	10
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Теорія дифузійної металізації (хромосиліціювання).....	10
1.2 Підвищення жаростійкості і зносостійкості способом – хромосиліціювання	12
1.3 Жаростійкість та способи її підвищення	17
Висновки.....	19
РОЗДІЛ 2	20
ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
2.1 Трубчастий теплообмінник з U-подібними трубками	20
2.2 Метод підвищення жаростійкості деталі – хромосиліціювання.....	23
2.3 Поняття жаростійкості та методи її визначення.....	24
2.3.1 Відбір зразків для випробувань на жаростійкість	26
2.3.2 Підготовка до випробування на жаростійкість	26
2.3.3 Рекомендації щодо застосування методів.....	27
2.4 Методики проведення випробувань.....	28
2.4.1 Методика вагового методу визначення жаростійкості по зменшенню маси зразка.....	28
2.4.2 Ваговий метод визначення жаростійкості по збільшенню маси зразка.....	30
2.4.3 Метод безпосереднього вимірювання глибини корозії...	30
2.4.4 Комбінований метод визначення глибини корозії.....	31

Висновки.....	32
РОЗДІЛ 3	33
ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І	
УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	33
3.1.Обґрунтування вибору методу підвищення жаростійкості.....	33
3.2 Виконання експерименту на жаростійкість трубок теплообмінника зі сталі 12X18Н10Т	34
3.3 Підготовка матеріалів і зразків для проведення ХТО – хромосиліціювання.....	39
3.4 Дослідження структури поверхневого шару після ХТО....	42
3.5Ваговий метод визначення жаростійкості металу по збільшенню маси.....	45
3.6 Результати випробувань.....	50
Висновки.....	52
РОЗДІЛ 4.....	53
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	53
4.1 Теоретична частина.....	53
4.2 Розрахункова частина.....	54
Висновки.....	58
РОЗДІЛ 5.....	59
ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА	
ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	59
5.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при термічній обробці	59
5.2 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту працівників	64
5.3 Техніка безпеки при роботі з печами	66
5.4 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	67

Висновки.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
Додатки.....	78
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	
Додаток Г	

ВСТУП

Актуальність роботи пов'язана із пов'язана з підвищенням жаростійкості трубок теплообмінника, адже в результаті цього підвищується строк експлуатації даного виробу, що значно може скоротити витрати в подальшому на його витрати.

Надійність експлуатаційних властивостей деталей теплообмінників визначається, перш за все, жаростійкістю (окалиностійкістю) матеріалу з якого виготовлена деталь.

Підвищення температури істотно впливає на структуру та властивості матеріалів. За рахунок збільшення температури спостерігається зниження міцності і збільшення пластичності металів, що пов'язано з ослабленням міжатомних зв'язків в кристалічній решітці, збільшенням швидкості дифузійних процесів, які впливають на дефектну структуру металів, а отже, і на їх властивості.

Мета роботи – підвищення експлуатаційних властивостей трубок теплообмінника.

Задачі досліджень:

- провести патентно-літературний аналіз теорії дифузії хіміко-термічної обробки (хромосиліціювання) та жаростійкості матеріалів;
- підібрати склад карбюризатора для твердосної дифузійної металізації в порошкових сумішах і герметичних контейнерах;
- провести хромосиліціювання зразків трубок теплообмінника;
- дослідити структуру після хіміко-термічної обробки;
- провести випробування зразків на жаростійкість та порівняти результати випробувань зразків після хромосиліціювання і без обробки;
- зробити висновки про проведену роботу і дати рекомендації по вибору шляхів підвищення жаростійкості трубок теплообмінника.

Об'єкт дослідження – вплив хромосиліціювання на жаростійкість трубок теплообмінника (інжектора).

Предмет дослідження – трубки теплообмінника із корозійностійкої, високоякісної, високолегованої сталі 12X18H10T.

Методи досліджень – метод насичення поверхневого шару зразків в порошковому карбюризаторі в герметичних контейнерах, ваговий метод визначення жаростійкості металів і сплавів по збільшенню маси зразки по ГОСТ 6130 - 71

Наукова новизна отриманих результатів. Проведення експерименту для визначення жаростійкості. Хромосиліціювання на високолегованих сталях практично не досліджували і не застосовували. В роботі розроблені та опробовані нові процеси ХТО і склади карбюризаторів для хромосиліціювання аустенітних жаростійких сталей, що дозволило підвищити жаростійкість аустенітної сталі 12Х18Н10Т в 1,5-2,0 рази.

Практичне значення отриманих результатів. Можливість застосування аустенітних сталей після хромосиліціювання .

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

Апробація роботи. Подані тези конференції і продовжуються подальші розробки.

Публікації. Тези конференції в розробці

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і трьох додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 73 сторінки у тому числі 6 рисунків, 11 таблиць, бібліографії із 44 джерел на 4 сторінках, трьох додатків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Теорія дифузійної металізації (хромосиліціювання)

Хромосиліціювання — це процес одночасного дифузійного насичення металів та сплавів хромом, а також і кремнієм. Хромосиліціювання залізовуглецевих сплавів проводять із метою підвищення зносостійкості в умовах тертя ковзання (із мастилом і без змащення), високотемпературної газової та електрохімічної корозії, абразивного зношування, фреттінгкорозії, опору ерозії і кавітації. Хромосиліціювання можна здійснювати практично всіма відомими методами та способами. Для промислового застосування найбільш відомі: порошковий метод насичення та насичення з розплавлених солей з відновниками (без електролізу). Під час порошкового методу насичення використовують насичення середовища, як на базі чистих елементів, так і метало термічних сумішей (на базі оксидів насичують елементів). При хромосиліціюванні із порошкових сумішей на основі відповідно чистих елементів співвідношення Cr : Si має бути в рубежі $(90 \div 97) : (10 \div 3)$. Хромосиліціювання проводять при температурах 1000-1100 ° С протягом 4 - 8 годин. Для насичення поверхні можна використовувати порошкові суміші таких складів: $(50 \div 54)\% \text{Cr} + (1,5 \div 5,5)\% \text{Si} + 42\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\% \text{NH}_4\text{Cl}$, $40\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 11,5\% \text{Al} + 39,5\% \text{Cr}_2\text{O}_3 + 7\% \text{SiO}_2 + 2\% \text{NH}_4\text{Cl}$. При зазначених вище температурах за $(4 \div 6)$ год. на армко-залізі формується хромосиліційований шар товщиною 120-150 мкм, що складається з твердого розчину кремнію та хрому в α -залізі (α -фаза), а на середньо - і високо вуглецевих сталях - шар товщиною 50 - 140 мкм, що складається з карбідної зони $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6 + (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ і зони α -фази [1].

Концентрація хрому та кремнію на поверхні хромосиліційованої сталі 45 становить 63 та 4% відповідно. Мікротвердість α -фази (в залежності від умов насичення та марки сталі) становить 2500-4500 МПа. Вона збільшується із підвищенням вмістом вуглецю в сталі.

При хромосиліціюванні в розплаві: 21,5% NaF + 32,5% KF + (10 , 14,5)% Cr₂O₃ + (21,5 , 25,5)% SiO₂ + 10% СММ (сілікомішметал) армко-заліза та сталей 45 і У8 при 1000-1100 ° С за 4 - 8 год на них формуються дифузійні шари товщиною 180-300 та 40-190 мкм відповідно. За структурою вони подібні описаним вище. Звертаючи увагу, що розплави на основі моносиліката натрію менш технологічні, ніж на базі фтористих солей.

При необхідності обробки великогабаритних виробів або місцевого зміцнення хромосиліціювання можна проводити із обмазок. На поверхні деталі при цьому послідовно наносять шари активної (29% Al₂O₃ + 20% Al + 35% Cr₂O₃ + 11% SiO₂ + 5% NH₄Cl - суміш попередньо відновлюють та замішують на гідролізованому етил силікату або інших сполучних) і захисної (60% H₃BO₃ + 40% SiO₂) обмазок товщиною 2-3 мм кожен. Після просушування обмазок процес ведуть при 1000-1100 ° С протягом 3 - 6 год. При цьому на середньо - та високо вуглецевих сталях формується шари товщиною 20-50 мкм, за структурою і властивостями подібні описаним вище. Хромосиліційовані середньо - та високо вуглецеві сталі володіють високу зносостійкість.

Хромосиліціювання – це ефективний метод підвищення кавітаційної стійкості залізовуглецевих сплавів, їх кавітаційна стійкість у водопровідній воді підвищується у 10-20 разів. Меншою мірою, але все-таки досить істотно підвищується в результаті хромосиліціювання кавітаційна стійкість легованих сталей перлітного та мартенситного класів. На нержавіючих сталях типу 12Х18Н10Т хромокремнієві покриття мало ефективні та їх кавітаційну стійкість практично не підвищують.

Хромосиліційовані поверхні на сталях зазвичай мають високу жаро - та термостійкістю. По оцінці жаростійкості вуглецеві хромосиліційовані сталі не поступаються сталям типу 12Х18Н10Т і 15Х25Т без покриттів.

Хромосиліціювання дуже впливово підвищує опір вуглецевих сталей електрохімічної корозії у водних розчинах: HNO₃, H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, CH₃COOH, NaCl, NaOH. Хромосиліціюванню можна піддавати матриці та пуансони штампів холодного деформування (підвищення стійкості в 3-4 рази), пуансони механічного

холодного таврування (підвищення стійкості в 2-2,5 рази), матриці гарячої висадки болтів (підвищення стійкості в 3-4 разів), деталі машин лиття під тиском алюмінієвих сплавів (підвищення стійкості в 10 разів), прес-форми для пресування пластмас (підвищення стійкості в 1,5-2,0 рази), матриці та пуансони для виготовлення електроізоляторів (підвищення стійкості в 1,5-2,0 рази), деталі насосів для прокачування морської води і свердловинних вод і т. д. [2].

1.2 Підвищення жаростійкості і зносостійкості способом – хромосиліціювання

Одним з перспективних напрямків підвищення надійності, довговічності, зносостійкості та корозійної стійкості виробів як з литих і штампованих, так і з порошкових матеріалів, є хіміко-термічна обробка і, зокрема, дифузійне хромосиліціювання, як один з її методів. Хоча очевидно, що застосування хіміко-термічної обробки для виробів з гаряче деформованих порошкових матеріалів повинно бути особливо ефективно, так як, завдяки структурним особливостям (велика протяжність та розвиненість кордонів зерен, підвищена концентрація вакансій і ін.), Вони мають більшу дифузійну сприйнятливостю. Це дозволить значно інтенсифікувати процес дифузійного насичення виробів з гаряче деформованих порошкових матеріалів; на першу основі заліза, а також скоротити час їх обробки. Однак відомості щодо вибору раціональних способів дифузійного хромосиліціювання, технологічних схем, режимів хромосиліціювання та гарячого штампування, складу насичує середовища і насичення матеріалів, а також подальшої термічної обробки виробів з порошкових матеріалів, в літературі відсутні. Вирішення цих завдань дозволить розширити номенклатуру виробів; з гаряче деформованих порошкових матеріалів тому, що хромосиліційовані шари, відрізняються, високими корозійностійкою та зносостійкістю. Крім того, дифузійне хромосиліціювання дозволяє отримувати значно глибші дифузійні шари за короткий час в розплаві солей? На підставі цього дифузійне хромосиліціювання доцільно використовувати для деталей машин, що працюють: в умовах тертя та зношуваннях, в агресивних і абразивних середовищах.

При хіміко-термічній обробці досягається набагато більше відмінностей у властивості 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]. ХТО істотно змінює фізико-хімічні властивості поверхневих шарів, та є одним з ефективних та широко застосовуються в промисловості методів підвищення надійності та довговічності деталей машин, інструментів.

До перспективним методам ХТО відносяться борування, хромування, силіціювання, титанування, а також двох-компонентне насичення: борохромування, хромосиліціювання, боротитанування [2, 3].

Хіміко-термічна обробка викликає зміни структури та напруженого стану сталей. Основою процесів є вивчення кінетик перетворень, що відбуваються в металі та факторів, що впливають на цю кінетику. Знання закономірностей дифузійних процесів хіміко-термічної обробки дозволить істотно підвищити ефективність пошуку нових матеріалів та оптимальних методів їх обробки. Основні зусилля дослідників, що вивчають процеси ХТО, зосереджені на встановленні механізмів і закономірностей дифузійного проникнення різних елементів у металеву основу або на вивчення характеру росту та властивостей утворених дифузійних зон.

Дифузійне насичення поверхні сталей і сплавів найчастіше проводять при високотемпературної ізотермічної або ізотермічні-ступінчастою витримці з повною перекристалізацією стали в аустенітний стан. Це призводить до перегріву - структура і механічні властивості, крім твердості і зносостійкості, погіршуються. Недоліками процесів традиційної ХТО є також їх висока енергоємність і тривалість [4].

Зі словник термінів по металу та термічної обробки [5] - «Хіміко-термічна обробка - термічна обробка, при якій в результаті дифузії відбувається зміна хімічного складу основного металу у поверхневому шарі виробу або у всьому його обсязі, як правило, в контрольованих середовищах ». При хіміко-термічній обробці

відбувається поверхнєве насичення стали відповідним елементом (C, N, Al, B, Cr, Si і др.) шляхом його дифузії в атомному стані з зовнішньої середовища при високій температурі.

Як правило, ХТО проводять з метою збагачення поверхневих шарів матеріалу певними елементами, однак в деяких випадках можливо видалення з сплавів тих чи інших елементів (частіше це видалення шкідливих домішок таких як кисень, водень, і т. д.).

Найчастіше застосовують такі види насичення поверхні елементами хіміко-термічних процесів обробки [6]: азотування - насичення елементом азотом, цементация - насичення елементом вуглецем, нітроцементация (ціанування) - насичення елементами азотом та вуглецем одночасно, алітування - насичення елементом алюмінієм, хромування - насичення елементом хромом, борування - насичення елементом бором, силіцирування - насичення елементом кремнієм, хромоалітування та хромосиліцирування - насичення відповідно бором та алюмінієм, хромом та алюмінієм, хромом та кремнієм і т. д.

Також можна застосовувати різні комбінації вищеперерахованих, а також багатьох інших процесів, то є багатоконпонентне насичення.

Області застосування ХТО:

- поверхнєве зміцнення металів та сплавів (дифузійне насичення поверхні різними елементами із метою підвищення твердості, зносостійкості, втомної і корозійно-втомної міцності і т.д.);
- надання виробам потрібних фізичних властивостей (електричних, магнітних, теплових і т.д.) [7];
- підвищення опору хімічної і електрохімічної корозії в різних агресивних середовищах при кімнатній та підвищених температурах (кислотостійкість, стійкість проти атмосферної корозії, корозії в середовищах хімічної, харчової промисловості, в середовищах органічних і мінеральних добрив і т.д.);
- надання виробам потрібного декоративного виду (переважно із метою фарбування виробів в різні кольори);

– полегшення технологічних операцій обробки металів (тиском, різанням і ін.) [8].

Підвищену поверхневу твердість, жаростійкість і корозійну стійкість в різних корозійних середовищах забезпечує хромосиліціювання, а також підвищує зносостійкість, зокрема ерозійну та кавітаційну стійкість [9].

Хіміко-термічна обробка викликає зміни структури та напруженого стану сталей. Основою для розробки її процесів є вивчення кінетики перетворень, що відбуваються в металі при різних температурах, та чинників, що впливають на цю кінетику. Наявність поверхонь розділу (поверхня, межі зерен, фаз і т.п.) істотно впливає на кінетику процесу дифузії. Дифузією називається підсвідоме вирівнювання концентрації в розчині. Макроскопічне перенесення речовини при дифузії є наслідком мікроскопічних перескоків частинок.

Дифузія визначає структурні зміни, та, в свою чергу, сильно залежить від структури металу, від ступеня її досконалості [10 - 12]. Розвиток процесу дифузії призводить до утворення в поверхневих шарах оброблюваного металу дифузійної зони, що складається із твердих розчинів або хімічних сполук. Шар матеріалу у поверхні насичення, який відрізняється від вихідного за хімічним складом, називається дифузійним шаром. Матеріал під дифузійним шаром, що не пошкоджене впливом активного середовища, називають серцевиною, під універсальною товщиною дифузійного шару розуміють найменшу відстань від поверхні насичення до серцевини [13,14]. Якісною та кількісною характеристикою ХТО є товщина дифузійного шару, розподіл концентрації дифундуючого елемента по товщині шару, фазовий склад та властивості шару (твердість, пластичність, опір зносу, корозійна стійкість і т. д.).

Металами можна насичувати стали та чавуни, алюмінієві та мідні сплави, сплави на основі титану та нікелю, молібден та вольфрам, а також багато інших металеві або керамічні матеріали. Найбільшого поширення мають методи насичення в порошкових твердих сумішах [15].

На відміну від інших методів поверхневої обробки металів (дробострумний наклеп, накатка роликками, індукційна, електролітна та газо-

полум'яне гартування, лазерна обробка, напилення покриттів, та ін.) хіміко-термічна обробка має ряд переваг:

- ХТО можна піддавати деталі будь-яких розмірів та конфігурацій;
- при інших методах поверхневого зміцнення, наприклад, при накатці роликками, загартуванню СВЧ, нанесенні покриттів, розміри та особливо форма грають виключно важливу роль. Деталі складної конфігурації піддати поверхневому зміцненню цими методами дуже складно або взагалі неможливо;
- при хіміко-термічній обробці досягається набагато більше відмінність у властивостях поверхневих слів та серцевини, ніж при інших видах поверхневої термічної обробки. Це пояснюється тим, що при механічних та термічних методах зміцнення поверхні змінюється тільки будова (структура) поверхневих шарів, а при хіміко-термічній обробці, крім того, змінюється їх хімічний склад, що значно розширює сферу варіювання фізико-механічних властивостей.

Основною небезпекою при всіх термічних видах поверхневого зміцнення є перегрів поверхні, при хіміко-термічній обробці або відсутній, або може бути усунутий подальшою або супутньою термообробкою [11,15].

При здійсненні будь-якого процесу ХТО вироби витримують певний час при певній температурі насичення в реакційній середовищі. Реакційні середовища можуть бути твердими, рідкими, газоподібними. Реакційне середовище та метал утворюють реакційну систему, в якій здійснюється масо перенос [16,17].

Дифузійне насичення з розплавів металів та солей, що містять насичуваний елемент. Таким методом обробляють матеріали з електролізом або без нього, що дозволяє скоротити тривалість обробки.

Недоліками є нестабільність товщини дифузійного шару, необхідність очищення готового виробу від залишків розплаву, рідше - невисока якість поверхні. Однак цей метод часто застосовують в серійному виробництві.

1.3 Жаростійкість та способи її підвищення

Жаростійкість – здатність металів та сплавів чинити опір окисленню і газовій корозії при інтенсивних температурах. Жаростійкість залежить від численних зовнішніх та внутрішніх факторів. Перш за все за жаростійкість відповідає поверхня металу і чистота її обробки. Поліровані поверхні окислюються повільніше, так як оксиди розподілені рівномірно та більш міцно розташовані з поверхнею металу. Ситуація, що формується на зовнішній поверхні оксидна плівка досить відмінно захищає метал від наступного окислення в тому випадку, якщо вона щільна та не пропускає іони кисню, добре зчеплена з підкладкою та не відшаровується при механічних випробуваннях. До металів, які утворюють такі ж плівки, відносяться хром та алюміній. Оксидні плівки типу шпінелі Cr_2O_3 і Al_2O_3 добре захищають від окислення при високих температурах. В іншому випадку, якщо на поверхні утворюється великий оксид, як у магнію, то він не стійкий та не захищає метал в подальшому від окислення.

Підвищення жаростійкості сплавів можна досягти легуванням елементами (хром, алюміній, кремній), які утворюють на зовнішній поверхні непроникні для іонів основного металу та кисню оксидні плівки. Також для цих цілей можна використовувати захисні покриття, склад яких вибирається із урахуванням умов роботи виробу та складу агресивного середовища. Структура жаростійкого матеріалу має бути однорідною і однофазною (чисті метали, тверді розчини). Термічна обробка змінює будову сплавів, а також їх корозійну стійкість. Відпал та нормалізація слугує до формування однофазної структури та, а також до збільшення жаростійкості матеріалу.

Пластична деформація знижує жаростійкість, так як в результаті з'являється градієнт напружень в структурі металу. Розмір зерна для жаростійкого матеріалу малозначний, а отже характеристика є структурно нечутливою.

Характеристики сплавів, стійких до корозії при підвищених температурах, можуть бути дані лише до конкретних агресивних середовищ та вибір матеріалу вирішується із врахуванням умов роботи даного виробу [18].

Внаслідок перегріву та впливу мікротурбінних вихлопних газів на механічні властивості та корозійну стійкість досліджуваних матеріалів для мікротурбінних рекуператорів була вибрана сталь 347. Результати представлені для 347 металевої плівки зі нержавіючої після 500-годинного дослідження впливу температури від 620 °C до 760 °C при розтягуванні напруги 50 МПа, було виявлено, що матеріал піддавався прискореному окисленню з підвищенням температури (Додаток Б). Продукти корозії склалися зі змішаних оксидів заліза та хрому. Також було виявлено вплив підвищених температур на зменшення міцності при розтягуванні, і також пластичності [19].

Нові матеріали оцінюються для заміни нержавіючої сталі 347 в мікротурбінних рекуператорах, що працюють при підвищених температурах, з метою збільшення ефективності мікротурбін (Додаток В). Сплави 120 і 625 тестуються разом із потенційно більш економічними, такими як Fe-20Cr-25Ni та Fe-20Cr-20Ni. Довгострокове випробування цих матеріалів при температурі від 650 до 700 °C демонструє високу корозійну стійкість до дії вихлопних газів. Випробування при 800°C було використано для подальшого визначення стійкості різних матеріалів. Кількість хрому у фользі цих матеріалів використовується для оцінки швидкості окислення. Хоча ці сплави з найвищим вмістом нікелю та хрому у цьому середовищі більше стійкі. Низько леговані сталі можуть мати достатню теплостійкість при низькій ціні матеріалу [20].

Жаростійкість визначають за час випробування, що дозволяє отримати закономірність корозії. Шляхом подальшої екстраполяції визначають глибину корозії в заданий період часу.

Жаростійкість сталі тим вище, чим більше в ній хрому, алюмінію або кремнію. Основним елементом, що підвищує жаростійкість сталі, є хром, зміст якого може досягати 30%. Жаростійкість сталі залежить від її складу і не залежить від структури, тобто практично однакова у феритних (хромистих) і аустенітних (хромонікелевих) марок. Жаростійкість залежить не тільки від хімічного складу металу або сплаву, а й від структури і чистоти обробки поверхні.

Висновки

Хромосиліціювання залізовуглецевих сплавів проводять із метою підвищення зносостійкості в умовах тертя ковзання (із мастилом і без змащення), високотемпературної газової та електрохімічної корозії, абразивного зношування, фреттінгкорозії, опору ерозії і кавітації. Хромосиліціювання можна здійснювати практично всіма відомими методами та способами. Для промислового застосування найбільш відомі: порошковий метод насичення та насичення з розплавлених солей з відновниками (без електролізу). Під час порошкового методу насичення використовують насичення середовища, як на базі чистих елементів, так і метало термічних сумішів (на базі оксидів насичують елементів).

ХТО істотно змінює фізико-хімічні властивості поверхневих шарів, та є одним з ефективних та широко застосовуються в промисловості методів підвищення надійності та довговічності деталей машин, інструментів.

При хіміко-термічній обробці досягається набагато більше відмінність у властивостях поверхневих шарів та серцевини, ніж при інших видах поверхневої термічної обробки. Це пояснюється тим, що при механічних та термічних методах зміцнення поверхні змінюється тільки будова (структура) поверхневих шарів, а при хіміко-термічній обробці, крім того, змінюється їх хімічний склад, що значно розширює сферу варіювання фізико-механічних властивостей.

Жаростійкість залежить від численних зовнішніх та внутрішніх факторів. Перш за все за жаростійкість відповідає поверхня металу та чистота її обробки. Поліровані поверхні окислюються більш повільно, так як оксиди розподілені рівномірно та більш міцно розташовані із поверхнею металу.

Підвищення жаростійкості сплавів можна досягти легуванням елементами (хром, алюміній, кремній), які утворюють на зовнішній поверхні непроникні для іонів основного металу та кисню оксидні плівки.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Трубчастий теплообмінник з U-подібними трубками

Двоходовий теплообмінник часто конструюють з U-подібними трубками, відкриті кінці яких завальцьовані в одну і ту ж трубну решітку (рис. 2.1). При запуску в роботу теплообмінників необхідно звернути увагу на напрямок руху робочих тіл. Гаряча (охолоджуюча) рідина повинна опускатися (подача зверху), а холодна (нагрівається) - підніматися. В цьому випадку отримуємо протитечію, яка забезпечує краще термічне зрізання [21].



Рисунок 2.1 - Схема теплообмінника з U - подібними трубками

(1 - кришка; 2 - корпус; 3 - U- подібні трубки)

Трубчасті теплообмінники (Додаток А) знайшли широке застосування в парових системах з температурою середовищ вище 200 градусів і тиском вище 25 атмосфер. У всіх інших випадках доцільно застосовувати пластинчасті

теплообмінники, так як вони будуть дешевшими, займати менше місця і зручними в експлуатації.

Порівняння теплообмінних апаратів

Кожен теплообмінний апарат затребуваний в своєму сегменті і знайшов свою нішу в широкому ряді виробництв і технологічних процесів. Давайте розглянемо унікальні особливості кожного і визначимо найоптимальніший варіант теплообмінника.

Порівняння пластинчастих теплообмінників з кожухотрубчастими.

1. Коефіцієнт теплопередачі в пластинчастих теплообмінниках в 3-4 рази більше, а ніж в кожухотрубних, завдяки спеціальному гофрованого профілю проточної частини пластини, що забезпечує високу ступінь турбулізації потоків теплоносіїв. Відповідно, площа теплопередаючої поверхні теплообмінників в 3-4 рази менше, ніж кожухотрубних. В результаті цього пластинчасті теплообмінники мають малу металоємність, дешевші за ціною, компактні (їх можна встановити в мало габаритному приміщенні).

2. Висока ремонтпридатність:

– на відміну від кожухотрубних пластинчасті теплообмінники їх можна швидко розібрати та легко чистити. При цьому не потрібно демонтаж підвідних трубопроводів (в разі застосування одноходового теплообмінника);

– у пластинчастому розбірному теплообміннику швидко і легко відбувається заміна ущільнень або пластин, також є можливість збільшити поверхню теплообміну, при збільшенні теплової потужності;

– пластинчасті теплообмінники складаються із окремих пластин, поверхня нагріву яких, як правило, не перевищує 2 м². Ця обставина разом із оптимально обраним типом пластини дозволяє точно, без зайвого запасу, вибрати теплопередаючу поверхню теплообмінника.

3. Термін експлуатації першої виходить із строю одиниці ущільнювальної прокладки досягає 10 років. Термін експлуатації теплообмінних пластин 15-20 років. Ціна заміни ущільнень від вартості пластинчастих теплообмінниках

варіюється в межах 15-25%, що більш вигідно аналогічного процесу заміни латунної трубної групи складовою 80-90% від вартості апарату.

4. Вартість монтажу пластинчастих теплообмінників нижче на порядок, ніж у кожухотрубчастих теплообмінниках.

5. Теплоносій із низькою температурою в системах тепlopостачання дозволяє нагрівати воду в пластинчастих теплообмінниках до необхідної температури.

6. Гнучкість: в разі необхідності площа поверхні теплообміну в пластинчастому теплообміннику може бути дещо збільшена простим додаванням пластин при необхідності.

7. Пластинчастий теплообмінник не вимагає спеціальної теплоізоляції, тому що у нього порівняно малий внутрішній обсяг.

8. Пластинчасті теплообмінники стійкі до вібрації, а трубчасті - ні.

Враховуючи всі перераховані особливості двох видів теплообмінного обладнання, можна з упевненістю сказати, що більш економічно вигідними, надійними та ефективними є пластинчасті розбірні теплообмінники.

Механічне очищення теплообмінників з U-подібними трубами фактично виключена, тому в процесі використання ні: обходимо вживати всіх заходів для запобігання утворення на стінках труб жорстких нерозчинних і незмивних опадів.

На інтенсивність та ефективність процесу теплообміну впливають також форма поверхні теплообміну, еквівалентний діаметр каналів, шорсткість поверхні, компонування каналів, що забезпечує оптимальні швидкості руху працюючих середовищ, середній температурний напір, наявність турбулізуючих елементів в каналах і інші конструктивні особливості [22].

Головні плюси всіх кожухотрубчастих теплообмінників - їх компактність та мала витрата сплаву на одиницю поверхні теплообміну. Недоліком кожухотрубчастих теплообмінників є їх схильність до забруднення теплообмінюючих поверхонь. З підвищенням товщини відкладень на поверхнях труб коефіцієнт теплопередачі рівномірно зменшується, і теплообмін посилюється.

До складу енергетичних установок входить ряд теплообмінних апаратів (теплообмінників), що є їх невід'ємною частиною. Ці апарати здебільшого є поверхневими і рекуперативними за принципом дії, проте в схемах енергетичних установок є також та апарати змішувального типу. Функціонування таких теплообмінних апаратів безпосередньо пов'язано з термодинамікою робочого циклу паротурбінної або газотурбінної установки та забезпечує необхідну ефективність та надійність її роботи. До таких апаратів відносяться, наприклад, конденсатори, підігрівачі системи регенерації і системи підігріву мережної води паротурбінних установок, а також повітрепідігрівачі та повітроохолоджувачі газотурбінних установок. Інші теплообмінні апарати, не будучи пов'язані безпосередньо з термодинамічним циклом установки, необхідні для забезпечення роботи допоміжних систем (наприклад, систем регулювання та змащення). Поверхневі апарати паротурбінних установок (ПТУ) в якості поверхні теплообміну мають пучки трубок, як прямих, так і іншої конфігурації - U- або П-образних. Теплообмінні апарати газотурбінних установок (ГТУ) виконуються як трубчастими, так і пластинчастими [23].

2.2 Метод підвищення жаростійкості деталі – хромосиліціювання

Жаростійкість сплавів можна досягти легуванням елементами (хром, алюміній, кремній), що утворюють на зовнішній поверхні непроникні для іонів основного металу та кисню оксидні плівки. Також для цих цілей можна використовувати захисні покриття, склад яких вибирається із врахуванням умов роботи виробу та складу агресивного середовища. Структура жаростійкого матеріалу має бути однорідною і однофазною (чисті метали, тверді розчини).

Перспективним напрямком підвищення зносостійкості, довговічності та корозійної стійкості виробів як з литих і штампованих, так і з порошкових матеріалів, є хіміко-термічна обробка та, зокрема, дифузійне хромосиліціювання, як один з її методів. Хоча очевидно, що застосування хіміко-термічної обробки для виробів з гаряче деформованих порошкових матеріалів повинно бути особливо ефективно, так як, завдяки структурним особливостям (велика протяжність та

розвиненість кордонів зерен, підвищена концентрація вакансій і ін.), Вони мають більшу дифузійну сприйнятливості. Це дозволить значно інтенсифікувати процес дифузійного насичення виробів з гаряче деформованих порошкових матеріалів; на першу основі заліза, а також скоротити час їх обробки. Однак відомості щодо вибору раціональних способів дифузійного хромосиліціювання, технологічних схем, режимів хромосиліціювання та гарячого штампування, складу насичує середовища та насичення матеріалів, а також подальшої термічної обробки виробів з порошкових матеріалів, в літературі відсутні. Вирішення цих завдань дозволить розширити номенклатуру виробів; з гаряче деформованих порошкових матеріалів тому, що хромосиліційовані шари, відрізняються, високими корозійностійкої та зносостійкість.

2.3 Поняття жаростійкості та методи її визначення

Жаростійкість (окалиностійкість) – здатність металів та сплавів чинити опір окисленню і газовій корозії при інтенсивних температурах.

Окислення відбувається на початкових стадіях як хімічний процес, але подальший перебіг окислення складний процес, що полягає не тільки в хімічній сполучі кисню і металу, але і в дифузії атомів кисню і металу через багатофазних окислений шар. При щільною окисною плівкою швидкість наростання окалини визначається швидкістю дифузії атомів крізь товщину окалини, що залежить також від температури, хімічного складу і будови окисленої плівки.

Будова окисленого шару:

Перш за все оксиди утворюють залізо - це FeO (вюстит), Fe₃O₄ (магнетит) і Fe₂O₃ (гематит). При температурі нижче евтектоїдної (727°C) окислений шар складається з двох зон окислів Fe₂O₃ і Fe₃O₄. При температурі ~600 ° C і вище шар складається з трьох оксидів Fe₂O₃, Fe₃O₄ і FeO, при цьому основна частина окалини окис FeO.

Швидкість дифузії з підвищенням температури вище евтектоїдної зростає через простий решітки FeO і наявності в решітці вакансій, «дірок» в кристалічній решітці. Для підвищення окалиностійкості сталь легують елементами, які

змінюють склад та будова окалини. В результаті введення в сталь хрому, кремнію, алюмінію, що володіють більшою спорідненістю до кисню, ніж залізо в процесі нагрівання утворюються оксиди Cr_2O_3 , Al_2O_3 та SiO_2 , дифузія через які відбувається з працею. Тонка плівка з цих оксидів ускладнює процес подальшого окислення. Чим вищий вміст хрому, кремнію або алюмінію, тим вище окалиностійкість сталі. Мінімальний вміст хрому при робочій температурі 900°C не менше 10%, а при робочій температурі $\sim 1100^\circ\text{C}$ не менше 20% Cr [24].

Слід зазначити, що структура стали на окалиностійкість не впливає (залежить тільки від хімічного складу).

Визначення жаростійкості проводять по ГОСТ 6130-71 [25]. Даним ГОСТом виділено чотири методи визначення жаростійкості металів і сплавів. Жаростійкість визначають після витримки зразків у печі з встановленої середовищем або в повітрі протягом заданого часу при постійній температурі наступними методами:

- ваговими - по зменшенню маси зразка;
- по збільшенню маси зразка;
- безпосереднім вимірюванням глибини корозії
- комбінованим, поєднанням вагового методу або методу безпосереднього вимірювання зразка з урахуванням товщини підокисного шару, збідненого легувальними елементами або глибини локальної корозії.

Жаростійкість визначають за час випробування, що дозволяє отримати закономірність корозії. Шляхом подальшої екстраполяції визначають глибину корозії в заданий період часу.

Жаростійкість сталі тим вище, чим більше в ній хрому, алюмінію або кремнію. Основним елементом, що підвищує жаростійкість сталі, є хром, вміст якого може досягати 30%. Жаростійкість сталі залежить від її складу і не залежить від структури, тобто практично однакова у феритних (хромистих) і аустенітних (хромонікелевих) марок. Жаростійкість залежить не тільки від хімічного складу

металу або сплаву, а й від структури і чистоти обробки поверхні. Кількісно жаростійкість оцінюють по збільшенню маси випробуваного зразка за рахунок поглинання металом (сплавом) кисню або по убутку маси після видалення окалини з поверхні зразка, віднесених до одиниці поверхні і на час випробування. Випробування полягає у витримці зразків у печі при постійній температурі протягом заданого часу. Одночасно враховується стан поверхні зразка (вироби), яке при однакових кількісних характеристиках може бути якісно різними. Жаростійкість поряд з жароміцних є основним критерієм придатності матеріалу для експлуатації при високих температурах. Для інших конструкційних матеріалів жаростійкість позначає здатність протистояти хімічним і механічному руйнуванню при високих температурах.

Ваговий метод по зменшенню маси зразка полягає у визначенні товщини шару металу, що піддалося корозії в процесі випробування, по різницю маси зразка до і після випробування та видалення продуктів корозії з його поверхні.

Ваговий метод по збільшенню маси зразка полягає у визначенні товщини шару металу, що піддалося корозії в процесі випробування, по збільшенню маси зразка, яка визначається безпосередньо в процесі випробування. При цьому для розрахунку попередньо визначають коефіцієнт відповідності збільшення маси зразка - зменшення його маси:

$$C = \frac{\text{зменшення маси зразка}}{\text{збільшення маси зразка}}$$

Величину коефіцієнта C визначають для досліджуваної марки сталі, температури і газового середовища одноразово. При множенні величини збільшення маси зразка на коефіцієнт C отримують значення умовного зменшення маси зразка, за яким визначають товщину шару металу, що піддалося корозії.

Метод безпосереднього вимірювання глибини корозії по уточненню полягає в вимірі зменшення лінійних розмірів зразка, яка зазнала корозії.

Комбінований метод полягає у визначенні маси зразка ваговими методами або безпосереднім виміром глибини корозії - по уточненню зразків, які зазнали

окисленню з урахуванням максимальної товщини подокісного шару, збідненого легувальними елементами або глибини максимальної локальної корозії.

2.3.1 Відбір зразків для випробувань на жаростійкість

Для випробувань металів та сплавів слід застосовувати плоскі зразки, вирізані з металу в стані поставки або з виробів. Для випробувань напівфабрикатів допускається застосовувати циліндричні зразки. При випробуванні методом безпосереднього вимірювання глибини корозії застосовуються тільки плоскі зразки. При цьому різної товщини плоского зразка не повинна перевищувати 0,01 мм.

Для оцінки жаростійкості виробів та зразків при натурних та стендових випробуваннях допускається застосовувати зразки іншої форми та розмірів в залежності від призначення та виду випробуваних матеріалів. При виготовленні зразків з прокату та інших виробів, що мають спрямовану текстуру деформації, зразки вирізають вздовж напрямку волокон.

2.3.2 Підготовка до випробування на жаростійкість

Поверхня зразка шліфують з малою подачею при інтенсивному охолодженні. Припуск на шліфування повинен бути не менше 0,3 мм на сторону. Шорсткість поверхні - по ГОСТ 2789-73 [26].

При визначенні жаростійкості ваговими методами підрахунок поверхні виробляють за сумарною площею.

Вимірювання зразка при визначенні площі поверхні виробляють з точністю $\pm 0,1$ мм.

Перед випробуванням зразки повинні бути знежирені етиловим спиртом, ефіром або іншими органічними летючими розчинниками.

При визначенні жаростійкості ваговими методами знежирені зразки повинні бути просушені і зважені з точністю $\pm 0,1$ мг. При визначенні жаростійкості методом безпосереднього вимірювання глибини корозії вимірювання товщини плоского зразка проводиться не менше ніж в трьох точках з точністю $\pm 0,003$ мм.

2.3.3 Рекомендації щодо застосування методів:

1. Ваговий метод визначення жаростійкості по зменшенню маси зразка рекомендується застосовувати для вуглецевих і низьколегованих сталей у всьому діапазоні температур; для всіх сталей і сплавів при відносно низьких температурах, коли окислення йде рівномірно, без утворення в під окісному шарі внутрішнього окислення, сульфідів, нітридів та інших з'єднань.

2. Ваговий метод визначення жаростійкості по збільшенню маси зразка рекомендується застосовувати в тих же випадках, що і ваговий метод по зменшенню маси зразка, коли випробування мають масовий характер, або потрібно визначення кінетики процесу окислення.

3. Метод безпосереднього вимірювання глибини корозії рекомендується застосовувати для всіх сталей при нерівномірному окисленні, для високолегованих і феритних сталей при відносно високих температурах, а також в разі, коли не можна застосовувати ваговий метод.

Кожного разу коли випробування менш 100 год. слід застосовувати метод визначення жаростійкості по збільшенню маси зразка. При цьому повинні використовуватися установки, обладнані аналітичними вагами.

2.4 Методики проведення випробувань

2.4.1 Методика вагового методу визначення жаростійкості по зменшенню маси зразка

При визначенні жаростійкості по зменшенню маси зразка з його поверхні повністю видаляють утворені продукти окислення, щоб при огляді зразка через лупу з 10-кратним збільшенням не було виявлено слідів окислення.

Залежно від складу сталей та сплавів видалення продуктів корозії з зразків після їх випробування здійснюється одним із таких способів:

а) для вуглецевих і низьколегованих сталей рекомендується застосовувати електрохімічний катодний обробку в 10% розчині сірчаної кислоти з присадкою інгібітору кислотної корозії (уротропін, катапін і ін. з розрахунку 1 г інгібітору на

1 л розчину); в якості анода застосовується свинцева пластинка. Щільність струму 10-15 а / дм, температура розчину 20 °С, тривалість обробки - до повного видалення продуктів корозії. Для визначення повноти видалення продуктів корозії зразки через кожні 10-15 хв. виймають з ванни, промивають водою і переглядають;

б) для вуглецевих, низьколегованих, середньо легованих і високолегованих сталей рекомендується застосовувати електрохімічний обробку в розплаві суміші, що складається з 40-60% кальцинованої соди і 60-40% їдкого натру. Обробку слід вести при 450-500 °С, щільності струму 25-50 а / дм, тривалості обробки 1-5 хв. залежно від товщини і складу окисної плівки;

в) для всіх сталей і сплавів крім вищевказаних способів рекомендується також спосіб, заснований на відновленні оксидів атомарним воднем. В цьому випадку зразки після випробувань занурюють у ванну з розплавленим металевим натрієм, через який безперервно продувають аміак. Температура розплаву 350 -420 °С, тривалість процесу 1-2 год.

Аміак повинен бути ретельно осушений. Витрата аміаку не повинна перевищувати 0,5 л / хв.. на 1 см поверхні оброблюваних зразків.

Обраний режим обробки необхідно перевіряти на не окисленому зразку. Контрольний не окислений зразок не повинен змінювати свою масу протягом години, відповідного обраному режиму видалення продуктів окислення.

Після зняття окалини відповідно до пред'явлення вимог зразки повинні бути ретельно промиті під проточною водою волосяною щіткою, просушені фільтрувальним папером, очищені гумкою і промиті етиловим спиртом.

Очищені від окалини зразки повинні бути поміщені в ексікатор на 1 год., після чого зважені з точністю $\pm 0,1$ мг.

2.4.2 Ваговий метод визначення жаростійкості по збільшенню маси зразка

Перед випробуванням тиглі із зразками зважують з точністю $\pm 0,1$ мг та потім поміщають в піч для випробувань. Збільшення маси зразка визначають за різницею результатів зважування холодного зразка до випробування і безпосереднього

зважування в процесі випробування або після охолодження зразків у тиглях, попередньо закритих кришками з жаростійкого матеріалу.

Для визначення коефіцієнта C випробовують не менше трьох зразків. При цьому в процесі випробування реєструють збільшення маси зразка, а зменшення його маси визначають відповідно до поданих вимог. Рекомендований час випробування 200 - 500 год.

Величина коефіцієнта C - змінна при заданій температурі і може змінюватися на 25 - 30% в залежності від часу випробувань. Зміну маси зразка в процесі випробування реєструють періодично (через заданий інтервал часу) або безперервно.

2.4.3 Метод безпосереднього вимірювання глибини корозії

Глибину рівномірної корозії слід визначати безпосереднім вимірюванням товщини зразка до і після випробувань з точністю $\pm 0,003$ мм.

Глибину рівномірної корозії при двосторонній корозії плоского зразка визначають як половину різниці між товщиною вихідного зразка і товщиною зразка після випробувань.

Товщину зразка визначають вимірюванням відстані між максимальними виступами на протилежних сторонах.

Максимальну глибину локальної корозії визначають вимірюванням відстані між максимальними виступами та западинами на зразку після випробувань.

2.4.4 Комбінований метод визначення глибини корозії

Глибину рівномірної корозії визначають як суму глибин рівномірної корозії, вимірюваної по зменшенню товщини зразка або розрахованої по зміні маси зразка до і після випробування з урахуванням максимальної товщини подокісного слою, збідненого легувальними елементами, або максимальної локальної корозії.

Глибину рівномірної корозії, вимірюваної по зменшенню товщини зразка, визначають відповідно до подання вимогам

Глибину рівномірної корозії визначають шляхом перерахунку вагового показника в глибинний і висловлюють в міліметрах за даний проміжок часу.

Глибину локальних видів корозії (міжкристалічна, внутрішнє окислення, пітингів) і подокісного шару, збідненого легувальними елементами, визначають на травлених шліфах металографічним або рентгеноструктурним мікроаналізом.

Висновки

Трубчасті теплообмінники знайшли широке застосування в парових системах з температурою середовищ вище 200 градусів і тиском вище 25 атмосфер. У всіх інших випадках доцільно застосовувати пластинчасті теплообмінники, так як вони будуть дешевшими, займати менше місця і зручними в експлуатації.

Теплообмінник часто конструюють з U-подібними трубками, відкриті кінці яких завальцьовані в одну і ту ж трубну решітку. При запуску в роботу теплообмінників необхідно звернути увагу на напрямок руху робочих тіл. Гаряча

(охладжуюча) рідина повинна опускатися (подача зверху), а холодна (нагріваюча) - підніматися. В цьому випадку отримуємо протитечію, яка забезпечує краще термічне зрізання.

Визначення жаростійкості проводять по ГОСТ 6130-71. Даним ГОСТом виділено три методи визначення жаростійкості металів і сплавів. Жаростійкість визначають після витримки зразків у печі з встановленої середовищем або в повітрі протягом заданого часу при постійній температурі наступними методами:

- ваговими - по зменшенню маси зразка;
- по збільшенню маси зразка;
- безпосереднім вимірюванням глибини корозії;
- комбінованим - поєднанням вагового методу або методу безпосереднього вимірювання зразка.

Ваговий метод визначення жаростійкості по збільшенню маси зразка. Перед випробуванням тиглі із зразками зважують з точністю $\pm 0,1$ мг та потім поміщають в піч для випробувань. Збільшення маси зразка визначають за різницею результатів зважування холодного зразка до випробування і безпосереднього зважування в процесі випробування або після охолодження зразків у тиглях, попередньо закритих кришками з жаростійкого матеріалу.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Обґрунтування вибору методу підвищення жаростійкості

Жаростійкість залежить від численних факторів таких, як зовнішні та внутрішні. Переважно за жаростійкість відповідає чистота її обробки і поверхня металу. Поліровані поверхні окислюються повільніше, так як оксиди розподілені рівномірно і більш міцно зчеплені з поверхнею металу.

Ситуація, що формується на поверхні оксидна плівка досить добре захищає метал від подальшого окислення в тому випадку, якщо вона щільна і не пропускає іони кисню, добре зчеплена з підкладкою та не відшаровується при механічних випробуваннях [27].

Всі способи підвищення жаростійкості сплавів мають на меті створення високо-захисних плівок, які блокують сплав від доступу окислювального середовища. Таким вимогам відповідають окисні плівки, що утворюються на поверхні хрому і алюмінію [28].

Жаростійкість сплавів можна реалізувати легуванням елементами (хром, алюміній, кремній), що утворюють на зовнішній поверхні непроникні для іонів основного металу та кисню оксидні плівки. Також для цих цілей можна використовувати захисні покриття, склад яких вибирають із врахуванням умов роботи виробу та складу агресивного середовища. Структура жаростійкого матеріалу має бути однорідною і однофазною (чисті метали, тверді розчини).

Термічна обробка змінює будову сплавів і, отже, їх корозійну стійкість. Відпал і нормалізація призводять до формування однофазної структури і сприяють збільшенню жаростійкості матеріалу.

Пластична деформація знижує жаростійкість, в результаті призводить до появи градієнта напружень в структурі металу. Розмір зерна для жаростійкого матеріалу мало важливий, тому ця характеристика є структурно нечутливою.

Характеристики сплавів, стійких до корозії при підвищених температурах, можуть бути дані лише до конкретних агресивних середовищ і вибір матеріалу вирішується з урахуванням умов роботи даного виробу.

Виходячи з вище викладеного, найефективнішим способом забезпечення необхідної експлуатаційної жаростійкості виробів, що працюють при підвищених температурах є підбір хімічного складу використовуваної сталі. Але жаростійкі сплави не завжди можуть забезпечувати необхідну жароміцність виробу. У таких випадках вдаються до методів поверхневого впливу на структуру і хімічний склад

матеріалу деталі. До таких методів належать способи хіміко-термічної обробки дифузійної металізації.

Для високолегованих аустенітних і феритних сталей, з вмістом хрому $\sim 18\%$, що працюють при температурах $> 850 \div 900$ °С рекомендують проводити процес дифузійної металізації — хромування, хромосиліціювання або хромоалюмосиліціювання в порошках або обмазках на основі Fe-Cr, Fe-Si і т. д., при цьому жаростійкість підвищується до 1000-1050 °С.

Одночасне насичення металів і сплавів хромом і кремнієм застосовують з метою підвищення зносостійкості, жаростійкості і корозійної стійкості в різних агресивних середовищах.

Хромосиліціювання сталей підвищує їх зносостійкість, ерозійну і кавітаційну стійкість, опір газової та електрохімічної корозії. Хромосиліціювання проводять в порошкових сумішах в герметичних контейнерах, з паст з використанням захисної обмазки, а також в рідких карбюризаторів електролізним і без електролізним способом насичення.

3.2 Виконання експерименту на жаростійкість трубок теплообмінника зі сталі 12X18H10T

Нами був проведений експеримент, суть якого полягає у визначенні жаростійкості трубок зі сталі 12X18H10T після дифузійної металізації, а саме хромосиліціювання.

Сталь 12X18H10T це високоякісна високолегована сталь аустенітного класу. Хімічний склад сталі регламентується ГОСТом 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

електропечач. Механічні, фізичні та технологічні властивості приведені в табл. 3.1 - 3.5 [29].

Таблиця 3.1

Механічні властивості 12Х18Н10Т

Переріз, мм	Переріз, мм	в, МПа	0,2, МПа	5, %	, %
Прутки. Гартування 1020-1100 °С, повітря, масло або вода.	60	510	196	40	55
Прутки шліфовані, оброблені на задану міцність.	-	590-830	-	20	-
Прутки нагартовані.	<5	930	-	-	-
Листи нержавіючі гарячекатані або холоднокатані. Гартування 1000-1080°С, вода або повітря.	>4	530	236	38	-

Продовження табл. 3.1

Листи нержавіючі гарячекатані або холоднокатані. Гартування 1050-1080°С, вода або повітря.	<3,9	530	205	40	-
Листи нержавіючі гарячекатані або холоднокатані нагартовані	<3,9	880-1080	-	10	-

Поковки. Закалка 1050-1100°C, вода або повітря.	<1000	510	196	35	40
Дріт термооброблений.	1,0-6,0	540-880	-	20	-
Труби безшовні гарячедеформовані без термообробки.	3,5-32	529	-	40	-

Таблиця 3.2

Механічні властивості 12Х18Н10Т при підвищених температурах

t випробування, °С	Гартування 1050-1100°C, охолодження на повітрі	700	650	600	550	500	20
$R_{0,2}$, МПа		120-195	120-195	120-205	135-205	135-205	225-315
R_b , МПа		265-360	270-390	340-410	380-450	390-440	550-650
δ_5 , %		20-38	27-37	28-38	31-41	30-42	46-74
δ_1 , %		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 3.3

Фізичні властивості 12Х18Н10Т

Температура випробування, °С	Модуль нормальної пружності, Е, ГПа	Модуль пружності при зсуві крутінням G, ГПа	Щільність, кг/см ³	Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·°С)	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
800		49		26	

Таблиця 3.4

Чутливість до охрупчування

Температура, °С	Початковий стан	600	650
Час, год		5000	5000
КСУ, Дж/см ²	274	186-206	176-196

Таблиця 3.5

Технологічні властивості сталі 12Х18Н10Т

Зварюваність:	без обмежень
Флокеночутливість:	не чутлива

Розглянемо більш ретельно вплив легуючих компонентів на характеристики нержавіючої сталі. Її основними легуючими елементами є Cr (хром) і Ni (нікель).

Високий вміст хрому в марці 12Х18Н10Т (від 17 до 19%) забезпечує здатність металу до пасивації та обумовлює сильні антикорозійні характеристики сталі.

Додавання нікелю (від 9 до 11%) переводить сталь в клас аустеніту. Це властивість має виняткове значення, дозволяючи поєднувати технологічність нержавіючої сталі з розширеним комплексом експлуатаційних характеристик. Такі

сталі добре прокатується в холодному і гарячому стані, мають високу, у порівнянні з феритну сталю, корозійну стійкість в агресивних середовищах, в тому числі сірчаної кислоти.

Вміст нікелю і хрому в сплаві надає специфічний вплив на стабільність аустеніту при охолодженні температури обробки (1050-1100°C) на твердий розчин. Для того щоб сталь мала повністю аустенітну структуру при температурі, що перевищує 900°C, достатньо присутності 0,1% вуглецю (C). 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 (C), він утворює тугоплавкий карбід TiC, виключаючи зменшення концентрації в сплаві хрому (Cr) шляхом утворення його карбідів.

Кремній (Si), зміст якого в 12X18H10T не більше 0,8%, підвищує щільність сталі і дегазує його. Додавання даного елемента збільшує міцність матеріалу і межа плинності, 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.

Як хіміко-термічної обробки з метою підвищення жаростійкості трубок теплообмінника було обрано хромосиліціювання.

Хромосиліціювання з порошків проводять при 1000-1100°C в герметизуючих контейнерах протягом 4-10 год. Структура, фазовий і хімічний склад шарів визначаються складом насичує середовища, температурою та часом насичення.

3.3 Підготовка матеріалів і зразків для проведення ХТО – хромосиліціювання

Виходячи з технологічної оснащеності лабораторії, а також трудомісткості і матеріальної вартості існуючих способів хромосиліціювання, для дослідження було обрано метод насичення поверхневого шару зразків в порошковому карбюризаторі в герметичних контейнерах.

У порошкових сумішах на основі хрому та кремнію відношення Cr: Si має дорівнювати 90 ÷ 97: 10 ÷ 3. У цьому випадку при рекомендованих в умовах насичення шар на армко-залізі є α -твердий розчин хрому і кремнію в залізі (α -фаза). На середньо- і високо вуглецевих сталях шар складається з карбідів (Cr, Fe) $_{23}C_6$ і (Cr, Fe) $_{7}C_3$, легованих кремнієм. Проаналізувавши довідкові дані для виготовлення карбюризатора був визначений наступний склад [30]:

- Кремній кристалічний - 1,5÷5,5% Si (в нашому випадку був використаний порошок феросплаву ФС70, вміст кремнію в якому становить 70%);
- Хром порошковий - 50÷54% Cr;
- Оксид алюмінію - 42% Al_2O_3 ;
- Хлорид амонію - 2% NH_4Cl .

Насичення елементами забезпечується введенням в шихту кристалічного кремнію і порошкоподібного хрому, розмір фракції повинен знаходитися в межах 200-300 мкм.

Для запобігання спікання в суміш вводять оксид алюмінію. У ролі активатора процесу дифузії використовують хлорид амонію. Розрахунок шихти для приготування карбюризатора наведено в табл. 3.6

Таблиця 3.6

Розрахунок шихти для приготування карбюризатора

Найменування компонента	Хімічна формула	Відсотковий вміст компонента, %	Ваговий зміст компонента, г
Феросиліцій ФС70	Fe – Si	3,5 (4,55)*	33,3 (43,3)*
Хром порошковий	Cr	52,5	500

Продовження табл. 3.6

Оксид алюмінію	Al ₂ O ₃	42	400
Хлорид амонію	NH ₄ Cl	2	19,05
* Розрахунок був проведений для суміші, яка містить кристалічний кремній. Допускається його заміна на порошкоподібний феросиліцій. При цьому вміст феросиліцію в суміші збільшено з розрахунку, що вмісту кремнію у феросплаві ~70%.			

Перед приготуванням карбюризатора всі компоненти були просіяні на лабораторних ситах для поділу фракції.



Рисунок 3.2 – Сито вібраційне лабораторне

Після просіювання всі компоненти були зважені на електронних вагах і змішані до однорідності суміші.

Для проведення дифузійної металізації зразки були знежирені за допомогою етилового спирту, серцевина трубчастого зразка була замазана вогнетривкою глиною.

Після висихання зразки були розміщені в контейнері із жароміцної сталі і засипані карбюратором таким чином, щоб жоден із зразків не стикався між собою і стінками контейнера. Відстань між зразками і стінками контейнера має бути не менше 1 см.

Після засипання контейнер був загерметизований за допомогою азбестової прокладки, закритий металевією кришкою контейнера, а шви щільно запечатані вогнетривкою глиною.

Дочекавшись повного висихання глини, контейнер був поміщений в лабораторну піч шахтного типу. Нагрівання печі проводилося разом з контейнером. Процес дифузійної металізації проводився при температурі 1000°C протягом 10 годин з моменту досягнення піччю заданої температури.



Рисунок 3.3 - Піч лабораторна шахтного типу

Після повного охолодження печі з контейнером, зразки були вилучені і очищені від суміші і вогнетривкої глини заповнювала серцевину трубок і відправлені на подальші металографічні дослідження.

3.4 Дослідження структури поверхневого шару після ХТО

Вивчення структури поверхневого шару проводять на металографічних шліфах. Для їх виготовлення зразки були розміщені в металевій оправці і залиті епоксидною смолою. Після застигання смоли був виготовлений мікрошліф.

Виготовлення мікрошліфа зводиться до виконання наступних операцій:

- 1) вирівнювання поверхні зрізу або зламу грубої шліфуванням;
- 2) тонка шліфовка;
- 3) полірування;
- 4) виявлення мікроструктури (якщо необхідно).

Груба шліфовка має на меті вирівняти всю поверхню зразка. Її зазвичай проводять на абразивних кругах; м'які або дуже тендітні зразки шліфують напилком або наждачним папером.

Щоб уникнути нагріву при шліфуванні зразок необхідно інтенсивно охолоджувати.

Тонка шліфовка проводиться з метою максимального зменшення нерівностей на оброблюваній поверхні. Її проводять на шліфувальних паперах спадної зернистості вручну або на спеціальних верстатах.

Як абразив, нанесеного на шліфувальну папір, використовують корунд, карборунд і інші тверді речовини аж до алмазу. Розмір абразивного порошку на різних сортах шліфувального паперу може змінюватися від 150 до 3,5-5 мкм. Перед тонкої шліфуванням зразок очищають від частинок металу і абразиву. При шліфуванні вручну шліфувальний папір поміщають на скло і зразок переміщують по папері, злегка притискаючи його; зразок робить при цьому зворотно-поступальний рух.

Шліфують до тих пір, поки на поверхні не зникнуть сліди попередньої обробки. Потім переходять до шліфування на більш тонкої шліфувальної папері, причому зразок попередньо очищають від налиплого наждачним пилю.

Шліфування на кожному новому сорті паперу виробляють в напрямку, перпендикулярному слідам (ризикам) від попередньої обробки. Зазвичай тонку шліфовку проводять на 4-5 сортах шліфувального паперу. Після завершення обробки зразок промивають під струменем води.

Полірування необхідна для остаточного вирівнювання поверхні мікрошліфа. Механічну полірування проводять на верстаті, основною частиною якого є обертовий диск, обтягнутий тканиною (фетр, сукно і т.д.).

Як абразив використовують найтонший порошок окису хрому, окису алюмінію або пасту гої.

Абразив (у вигляді суспензії або пасту) наносять на круг та полірують зразок до тих пір, поки його поверхня не стане дзеркально гладкою. На полірованій поверхні повинні бути відсутні ризики та інші нерівності.

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, сульфід, нітриди, силікати, графіт, шлак), так і не усунуті поліруванням дефекти поверхні зразка (мікротріщини, раковини і ін.).

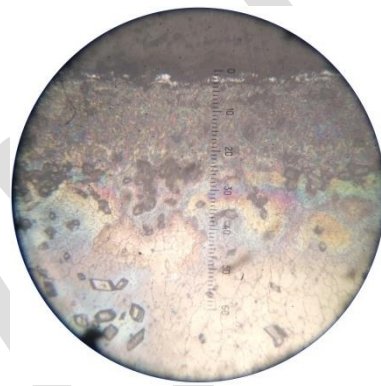
Структура нетравленого поверхневого шару зображена на рисунку 3.4



x200

Рисунок 3.4 - Структура поверхневого шару до травлення

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 знежирюють спиртом. Травлення зразків з аустенітної сталі проводять за допомогою плавикової кислоти HF.



x500

Рисунок 3.5 - Структура поверхневого шару після травлення

Структура поверхневого шару (світлий шар) згідно довідкової літератури - це твердий розчин хрому і кремнію в залізі (твердість $H_{\mu} = 2500-3000\text{МПа}$), за цим шаром спостерігається перехідна зона - аустеніт + карбіди хрому або леговані хромом карбіди заліза.

У деяких джерелах наводиться формула поверхневого шару - упорядкований твердий розчин $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{Si}$. Для уточнення мікроструктури слід провести структурно-фазовий аналіз на фазовому аналізаторі - ДРОН-4-07.

3.5 Ваговий метод визначення жаростійкості металу по збільшенню маси

Для випробування зразків на жаростійкість був використаний ваговий метод визначення жаростійкості металів і сплавів по збільшенню маси зразки по ГОСТ 6130 - 71 [25].

Установки для випробувань на жаростійкість повинні відповідати таким вимогам:

- а) мати автоматичне регулювання температури з точністю $\pm 5^\circ \text{C}$;
- б) забезпечувати відхилення температури в окремих точках печі в зоні розташування зразків не більше $\pm 5^\circ \text{C}$ від заданої температури;
- в) забезпечувати рівномірне омивання поверхні зразків газовим середовищем.

Газове середовище за хімічним складом повинне відповідати або бути близьким до середовища, в якій буде працювати випробовуваний матеріал. Швидкість потоку газового середовища в процесі випробування не повинний бути менше 0,025 м / сек., але не більше швидкостей потоку, що викликають ерозію.

При визначенні жаростійкості ваговим методом по збільшенню маси зразка слід застосовувати спеціальні керамічні тиглі, що не перешкоджають проникненню газового середовища і забезпечують збереження обсіпання окислів. Тигель із зразками розміщують в печі на керамічних підставках або підвішують на алундові стрижнях.

Перед випробуванням тиглі повинні бути прожарені до постійної маси.

Установка повинна забезпечувати безперервне або періодичне зважування досліджуваних зразків безпосередньо в печі при температурі випробування. Для цього рекомендується використовувати установки, обладнані аналітичними вагами, на одному плечі коромисла яких підвішують тигель зі зразком, що знаходяться в печі. Допускається періодичне зважування охолоджених зразків поза печі.

Випробуванням були піддані зразки після ХТО і вихідні зразки без обробки. Всі зразки були піддані попередній підготовці, яка полягає в наступному:

– Для визначення жаростійкості ваговим методом був проведений підрахунок поверхні зразків за сумарною площею, вимір зразка при визначенні площі поверхні вироблено з точністю $\pm 0,1$ мм.

– Перед випробуванням зразки були знежирені етиловим спиртом і просушені, після чого було проведено їх зважування з точністю понад $\pm 0,1$ мг. Результати зважування зразків відображені в табл. 3.7

Таблиця 3.7

Протокол зважування зразків до проведення випробування

Вихідні зразки	Вага, г (вказано разом з тиглем)	Зразки після ХТО	Вага, г (вказано разом з тиглем)	Температура випробувань, °С
1*	14,06040	1	13,56455	800
2*	14,94780	2	13,21865	900
3*	15,29260	3	13,48655	1000

Проведення випробування на визначення жаростійкості зразків полягає в наступному. Зразки завантажують в піч, що має задану температуру. Допускається завантаження зразків в холодну піч.

Початком випробування вважають момент досягнення в робочій зоні печі заданої температури. Кінцем випробування вважають момент вимикання печі або вивантаження зразків після закінчення терміну випробування.

При випробуваннях тривалістю не більше 100 год. зразки завантажують в піч, що має задану температуру. Кінцем випробування вважається момент вивантаження зразків з гарячої печі.

Випробування на жаростійкість проводяться з періодичним охолодженням зразків разом з піччю або на спокійному повітрі.

Цикли охолодження вибираються в залежності від призначення досліджуваного металу.

Для установок, що працюють періодично, а також при натурних і стендових випробуваннях зразки слід охолоджувати відповідно до запланованого режимом роботи установок.

Температуру випробувань встановлюють залежно від умов експлуатації досліджуваного матеріалу.

Збільшення маси зразка визначають за різницею результатів зважування холодного зразка до випробування і безпосереднього зважування в процесі випробування або після охолодження зразків у тиглях, попередньо закритих кришками з жаростійкого матеріалу.

Для визначення коефіцієнта C випробовують не менше трьох зразків. При цьому в процесі випробування фіксують збільшення маси зразка, а зменшення його маси визначають відповідно до вимог (ГОСТ 6130 -71) [25]. Рекомендований час випробування 200-500 год.

Величина коефіцієнта C - змінна при заданій температурі і може змінюватися на 25-30% в залежності від часу випробувань.

Вказана зміна величини C при розрахунку на глибинний показник корозії не враховується.

Зміна маси зразка в процесі випробування фіксують періодично (через заданий інтервал часу) або безперервно.

Таким чином після підготовки зразки були розміщені в тиглях і відправлені в піч по два зразка (один без покриття і один після хромосиліціювання) печі нагрівалися до температур 800, 900 і 1000°C відповідно.

Протокол проведення випробувань наведено в таблиці 3.8

Таблиця 3.8

Протокол проведення випробування

	Температура випробувань, °C		
	800	900	1000
Дата: 20.06.18			

Час запуску печі	9:30	9:30	9:30
Час досягнення заданої температури	10:00	12:15	11:50
Час відключення печі	12:00 (несправність)	19:00	19:00
Загальний час випробувань на дату	2:00	6:45	7:10
Дата: 21.06.18			
Час запуску печі	8:00	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	11:00	10:30	10:00
Час відключення печі	13:00 (несправність)	17:00	17:00
Загальний час випробувань на дату	2:00	6:30	7:00
Дата: 22.06.18			
Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	11:00	10:45
Час відключення печі	-	15:30	15:30
Загальний час випробувань на дату	-	4:30	4:45
Дата: 25.06.18			
Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	11:00	10:30
Час відключення печі	-	16:30	16:30
Загальний час випробувань на дату	-	5:30	6:00
Дата: 26.06.18			
Час запуску печі	9:00	8:00	8:00

Продовження табл. 3.8

Час досягнення заданої температури	10:35	10:20	10:20
Час відключення печі	10:35 (несправність)	19:00	19:00
Загальний час випробувань на дату	-	8:40	8:40
Дата: 27.06.18			

Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	10:30	10:30
Час відключення печі	-	21:00	21:00
Загальний час випробувань на дату	-	10:30	10:30

Дата: 28.06.18

Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	9:30	9:30
Час відключення печі	-	20:00	20:00
Загальний час випробувань на дату	-	10:30	10:30

Дата: 29.06.18

Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	9:30	9:30
Час відключення печі	-	20:00	20:00
Загальний час випробувань на дату	-	10:30	10:30

Дата: 30.06.18

Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	9:30	9:30
Час відключення печі	-	20:00	20:00
Загальний час випробувань на дату	-	10:30	10:30

Дата: 01.07.18

Час запуску печі	-	8:00	8:00
Час досягнення заданої температури	-	9:30	9:30
Час відключення печі	-	20:00	20:00

Продовження табл. 3.8

Загальний час випробувань на дату	-	10:30	10:30
Загальний час випробувань за весь період	4:00	84:25	86:05

3.6 Результати випробувань

Після проведення випробувань зразки разом з тиглями були витягнуті з печі, після чого було проведено зважування зразків на аналітичних вагах, при цьому потрібно дотримуватися максимальної обережності, щоб зберегти всю окалину утворилася на зразках і обсіпану в тигель.

На рисунку 3.6 зображений фото зразків після випробування. Результати зважування наведені в таблиці 3.9.



Рисунок 3.6 – Фото зразків після проведення випробувань
Результати зважування наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Протокол зважування зразків після проведення випробування

Вихідні зразки	Вага, г (Вказано разом з тиглем)	Зразки після ХТО	Вага, г (Вказано разом з тиглем)	Температура випробувань, ° C

1*	14,08500	1	13,59770	800
2*	14,96295	2	13,25500	900
3*	15,34590	3	13,59900	1000

*Результати випробувань визначають збільшенням маси зразка в грамах на 1 м² площі.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.10

Таблиця 3.10

Результати випробувань

Температура випробувань, °С	Номер зразка	Вага до проведення випробувань, г	Вага після проведення випробувань, г	Розміри зразка			Загальна площа поверхні зразка, мм ²	Збільшення маси зразка, г/м ²
				Зовнішній діаметр D, мм	Внутрішній діаметр d, мм	Висота h, мм		
800	1*	14,06040	14,08500	10,0	7,6	20,1	1177,1	20,9
	1	13,56455	13,59770	10,0	7,6	14,9	889,8	37,3
900	2*	14,94780	14,96295	10,0	7,6	20,1	1177,1	12,9
	2	13,21865	13,25500	10,0	7,6	15,0	895,3	40,6
1000	3*	15,29260	15,34590	10,0	7,6	20,3	1188,2	44,9
	3	13,48655	13,59900	10,0	7,6	14,9	889,8	126,4

Висновки і рекомендації

В результаті проведення дослідження можна зробити наступні висновки та рекомендації:

Підвищення експлуатаційних властивостей, а саме підвищення жаростійкості матеріалу трубок теплообмінника може бути здійснено двома шляхами.

Перший полягає в заміні сталі 12X18H10T, працюючій в необробленому вигляді при температурах ~ 850 °С, на високо хромисту сталь 15X25T, що працює при температурі > 1050 °С.

Другий шлях підвищення жаростійкості трубок теплообмінника проведення дифузійної металізації для поверхневого шару трубок, що контактують з окислювальним середовищем при підвищеній температурі.

Для підвищення жаростійкості шляхом дифузійної металізації, рекомендується проводити хромосиліціювання в порошкоподібному твердому карбюризаторі в герметичних контейнерах.

Для уточнення мікроструктури поверхневого шару слід провести, крім металографічного аналізу, ще й структурно-фазовий аналіз на фазовому аналізаторі - ДРОН-4-07.

Для збільшення точності експерименту на жаростійкість на 3-х зразках, з витримкою 25, 65, 100 годин, при температурах випробування 800 і 1000 °С.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Теоретична частина

Підготовка виробництва вимагає експлуатаційних витрат і капітальних вкладень. До перших відносяться витрати на технологічну, конструкторську, матеріальну і документальну підготовку виробництва. Попередньо складаються кошториси витрат на проектування нової продукції, розробку процесу її виготовлення, проектування технологічної оснастки, розрахунок і оформлення видаткових нормативів, складання калькуляцій собівартості продукції на придбання або перепланування і налагодження обладнання на відрядження, пов'язані з проектуванням і освоєнням нової продукції на різницю між плановою та фактичною собівартості продукції, випущеної в період освоєння кошторис витрат на креслярські, канцелярські та друкарські робіт [31].

При технологічно безперервних процесах ремонтуються комплексно цілі системи (агрегати, установки, виробництва). Унікальні і великий виробничої потужності системи обов'язково ремонтуються через строго певну кількість годин роботи. Це необхідно для гарантії надійної і безаварійної роботи між двома ремонтами. Такий ремонт називається примусовим. Іноді підприємство в цілому зупиняється на ремонт.

У цьому випадку дозвіл на ремонт має бути отримано від вище зайнятої організації відповідно за ремонтними нормативами. На зупинний ремонт складаються докладні відомості дефектів, кошторису витрат, план і графіки організації робіт.

При капітальному ремонті графіки складаються з урахуванням максимально можливої механізації робіт на основі застосування спеціальних ремонтно-монтажних пристосувань з попередньою заготівлею матеріалів, запасних вузлів, деталей і пристосувань. Приймання після ремонту цехів і систем проводиться комісією за актом (затверджується директором заводу). Вся апаратура, що працює під тиском, після середнього і капітального ремонтів здається інспекції котлонагляду для перевірки і отримання дозволу на експлуатацію відремонтованих об'єктів.

Зазначені витрати включаються в собівартість при освоєнні нових підприємств, комплексів обладнання в межах затвердженого кошторису розробці

нових виробів і технологічних процесів за спеціальними вимогами замовника з включенням в договірну тимчасову ціну.

Кошторис витрат на виготовлення спеціального оснащення складають по кожному виробу на підставі виробничої програми, запроектованого технологічного процесу і специфікації оснащення. У кошторисі передбачають також витрати на ремонт і утримання спеціального оснащення.

По способу включення до собівартості деяких видів, а також груп однорідної продукції витрати можна поділити на прямі і непрямі.

Прямими можна вважати витрати, які можуть бути віднесені на собівартість деяких видів продукції одночасно за даними первинних документів.

До непрямих можна віднести витрати, які не мають буквального пропорційного зв'язку із окремими видами продукції та включаються в їх собівартість за допомогою спеціальних кошторисів (загальновиробничі, загальногосподарські та ін.).

Слід зауважити, що приналежність окремих видів витрат до прямих або непрямих певною мірою обумовлена особливостями технологічного процесу та організації виробництва.

Витрати на проведення науково-дослідницької роботи розраховують шляхом безпосереднього розрахунку.

4.2 Практична частина

Загальна формула для розрахунку витрат на науково-дослідну роботу:

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

В табл.4.11 приведений кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи

Таблиця 4.11

Кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи

Найменування статей витрат	Сума, грн	Позначення
Основні матеріали сталь 12X18H10T	359,00	$V_{\text{матер.}}$
Допоміжні матеріали для ХТО(хромосиліціювання): Хром порошковий (500 г) Феросиліцій ФС70 (33,3 г) Оксид амонію (400 г) Хлорид амонію (400 г) Плавикова кислота (200 мг) Тигель	156,00 17,90 23,00 29,00 50,00 150,00	$V_{\text{доп.матер.}}$
Електроенергія	1340,00	$V_{\text{електр}}$
Спеціальне устаткування Коефіцієнт амортизації на електричну піч	884,00	$A_{\text{обл}}$
Металографічний аналіз	1740,00	$V_{\text{робіт}}$
Заробітна плата працівника	1600,00	$V_{\text{прац}}$
Разом	6,348,90	$V_{\text{нд}}$

До витрат на основні матеріали, покупні вироби і напівфабрикати відносяться витрати на різні матеріали (наприклад, сталь різних марок) і вироби, що є об'єктом дослідження. Ціна за 1 кг сталі 12X18H10T становить $V_{\text{матер.}} = 359,00$ грн.

До витрат на допоміжні матеріали відносяться витрати на кислоту для травлення зразків, різні солі, луги, масла, створення штучної атмосфери та інші

матеріали, що використовуються безпосередньо при проведенні досліджень. Для приготування

Матеріали для приготування шихти для карбюризатора:

- 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 амонію необхідна вага 400 г, вартість якого становить 23,00 грн;
- хлорид амонію необхідна вага 400 г, вартість якого становить 29,00 грн.

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

Використовували тиглі, вартість 1 шт. становить 25,00 грн., необхідна кількість 6 шт. Загальна вартість $V_{\text{доп.матер.}} = 6 \times 25 = 150,00$ грн

Електроенергія. Вартість 1 кВт = 1,68 грн. Потужність шахтної електричної печі становить 8 кВт.

Вартість роботи печі грн/год. $8 \times 1,68 = 13,4$ грн

Загальна вартість електроенергії за 100 год. роботи печі $V_{\text{енерг.}} = 13,4 \times 100 = 1340,00$ грн.

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

Коефіцієнт амортизації на електричну піч

Оцінка технологічного обладнання 22272 грн., період експлуатації 84 місяці (7 років).

Норма амортизування = $100\% : 7 = 14,29\%$ в рік

Сума = $22272 \times 14,29\% : 100\% = 31826$ грн. на рік

Амортизаційні відрахування щомісяця = $31826 : 12 = 2652$ грн.

Амортизаційні відрахування на один день = $2652:30=88,4$, а на виконання науково-дослідної роботи 10 днів $A_{\text{обл.}} = 88,4 \times 10 = 884,00$ грн.

Металографічний аналіз 1 шт. мікрошліфа становить $V_{\text{робіт}} = 290,00$ грн., для дослідження у нас 6 шт.

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

Загальна сума, яка витрачена на металографічний аналіз становить $6 \times 290 = 1740,00$ грн.

Загальний підсумок розрахунку витрат на науково-дослідну роботу:

$$V_{\text{нд}} = V_{\text{матер.}} + V_{\text{доп.матер.}} + V_{\text{електр.}} + A_{\text{обл.}} + V_{\text{робіт}} = 359,00 + 156,00 + 17,90 + 23,00 + 29,00 + 50,00 + 150,00 + 1340,00 + 884,00 + 1740,00 + 1600,00 = 6,348,90$$

грн.(шість тисяч триста сорок вісім гривень дев'яносто копійок)

Висновки

Підготовка виробництва вимагає експлуатаційних витрат і капітальних вкладень. До перших відносяться витрати на технологічну, конструкторську, матеріальну і документальну підготовку виробництва. Попередньо складаються кошториси витрат на проектування нової продукції, розробку процесу її виготовлення, проектування технологічної оснастки, розрахунок і оформлення видаткових нормативів, складання калькуляцій собівартості продукції на

придбання або перепланування і налагодження обладнання на відрядження, пов'язані з проектуванням і освоєнням нової продукції на різницю між плановою та фактичною собівартості продукції, випущеної в період освоєння кошторис витрат на креслярські, канцелярські та друкарські робіт.

Зазначені витрати включаються в собівартість при освоєнні нових підприємств, комплексів обладнання в межах затвердженого кошторису розробці нових виробів і технологічних процесів за спеціальними вимогами замовника з включенням в договірну тимчасову ціну.

На виконання науково-дослідної роботи було витрачено $V_{нд.} = 6,348,90$ грн. (шість тисяч триста сорок вісім гривень дев'яносто копійок).

$$V_{\text{матер.}} = 359,00$$

$$V_{\text{доп.матер.}} = 156,00 + 17,90 + 23,00 + 29,00 + 50,00 + 150,00 = 425,90 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{енерг.}} = 1340 \text{ грн.}$$

$$A_{\text{обл.}} = 884,00 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{робіт}} = 1740,00 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{прац}} = 1600,00 \text{ грн.}$$

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при термічній обробці

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що виникають при термічній і хіміко-термічній обробці, можна поділити на фізичні, хімічні та психофізіологічні.

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами є: пил дезінтеграції і конденсації, пари і гази, надлишкова теплота, підвищений рівень шуму і вібрації, електромагнітні випромінювання, рухомі машини і механізми, рухомі частини обладнання, ультразвук.

До фізичних факторів належать: підвищена температура повітря робочої зони, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищені або знижені вологість і рухливість повітря, небезпечний рівень напруги в електричних колах обладнання, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, шуму та вібрації на робочому місці, рухомі машини і механізми, переміщувані вироби та матеріали.

До хімічних факторів відносяться загально токсичні, дратівливі, канцерогенні.

Психофізіологічні чинники включають фізичні і нервово-психологічні перевантаження.

З перерахованих фізичних факторів перші чотири впливають на формування метеорологічних умов в робочій зоні і в цеху в цілому. Робочою зоною слід вважати простір висотою до двох метрів над рівнем підлоги або майданчика, на яких знаходяться робочі місця. Якщо обслуговування процесів виробництва здійснюється в різних місцях робочої зони, постійним робочим місцем є вся робоча зона. Склад і температура атмосфери термічного цеху в великій мірі залежать від видів застосовуваних технологічних процесів, типів обладнання. Важливе значення має справність і належний режим роботи загальної та місцевої вентиляційних систем, а також необхідна аерація цеху.

Оскільки в термічних цехах основним видом устаткування є нагрівальні печі і пристрої (установки індукційного нагріву, газополум'яні установки), то і температурні умови в цеху і на робочих місцях залежать від їх типу, особливостей конструкції і дотримання умов нормальної експлуатації. Виділення тепла в атмосферу цеху відбувається при конвекції і випромінювання (радіації). Від

нагрітих стінок корпусів обладнання, а також від деталей, що мають температуру нижче $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, тепло поширюється конвекцією. Через відкриті завантажувально-розвантажувальні вікна нагрітих печей, від дзеркала печей-ванн, від деталей, вивантажених з печей з температурою понад $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, тепло поширюється в цех випромінюванням. Кількість тепла, що передається випромінюванням, пропорційно четвертому ступеню температури, тому при збільшенні температури випромінюючого тіла нагрів випромінюванням різко зростає.

Тепловий потік, що передається випромінюванням через відкриті вікна печей або від дзеркала печей-ванн, поширюється направлено пучком променів, який розходить. Тому інтенсивність нагріву залежить від того, під яким кутом до джерела випромінювання і на якій відстані від нього знаходиться працюючий.

Кількість тепла, що передається від печі, нагрітої до температури $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, через відкрите вікно на відстані 1 м по осі потоку, досягає $1\text{-}8\text{ кДж/м}^2\text{с}$. Згідно з ССБТ (ГОСТ 12.3.004-75) [32] інтенсивність теплового випромінювання на робочих місцях не повинна перевищувати $0,35\text{ кДж/м}^2\text{с}$.

Нагрівання атмосфери цеху випромінюванням може також відбуватися внаслідок несправності і негерметичності печей, при різноманітних порушеннях правил експлуатації обладнання (наприклад, при роботі печей-ванн з відкритими кришками).

Втрати тепла через стінки і склепіння печі можна істотно знизити, застосовуючи теплоізоляційний шар достатньої товщини. Однак при цьому потрібно мати на увазі, що теплоізоляційні матеріали можуть витримувати температуру тільки до певної межі, що вимагає збільшення товщини внутрішньої вогнетривкої кладки (футерування). При цьому збільшуються габаритні розміри печі. Крім того, зростають втрати тепла на акумуляцію кладки. Тому в якості вихідних даних при конструюванні і тепловому розрахунку печі приймають допустиму температуру зовнішньої поверхні стінки печі (кожуха) і робочу температуру внутрішньої її стінки. Згідно з СН 245-71 [33], температура зовнішньої поверхні стінки печі не повинна перевищувати $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Істотний вплив на температуру цеху мають оброблювані деталі, які після нагрівання в печі вивантажуються для проведення подальших операцій, наприклад гартування, охолодження до внутрішньо цехової температури при нормалізації, після відпуску та ін. Тому всі нагріті після термічної обробки деталі необхідно розміщувати в місцях, обладнаних ефективною витяжною вентиляцією, або в спеціально обладнаних приміщеннях.

Передача тепла від нагрітих деталей безпосередньо в цехову атмосферу може відбуватися також в процесі термічної обробки з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ).

Всередині цеху і безпосередньо на робочих місцях на самопочуття і працездатність працюючих великий вплив мають вологість та швидкість руху повітря під дією природної і штучної вентиляції. Для проєктованих промислових підприємств санітарними нормами СН 245-71 [33] передбачені оптимальні та допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря для виробничих приміщень з різним надлишком явного тепла, наведені рекомендовані швидкості руху повітря при повітряному душуванні робочої зони в залежності від категорії роботи, інтенсивності теплового опромінення і температури повітря [34].

Пило- та газовиділення. За умовами роботи термічного цеху в ньому неминуче відбувається виділення пилу і газів. Атмосферне повітря зазвичай містить близько 78% азоту, 21% кисню, 0,9% інертних газів, 0,08% вуглекислого газу і незначна кількість інших домішок. В атмосфері такого складу забезпечується нормальна життєдіяльність людського організму. Зміна складу атмосфери понад допущених меж порушує роботу органів дихання. Збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері викликає сильну реакцію організму: частішає дихання, дратуються слизові оболонки, з'являється кашель, проявляється його наркотичну та токсичну дію.

Великі обсяги виробництва вимагають установки в прокатних цехах високопродуктивних прокатних машин і агрегатів, що обробляють метал на високих швидкостях. Так, швидкість прокатки сортової сталі складає 15-75 м / с. Для проведення різання, редагування, травлення, нанесення покриттів

використовують агрегати, швидкість обробки металу на яких забезпечує високу їх продуктивність. Маса вихідних матеріалів зросла до 20-40 т при прокатці на обтискних і листових станах. Це вимагало застосування потужного механічного та електричного обладнання. В якості приводу валків обтискних станів використовують індивідуальні електродвигуни потужністю 10 тис.кВт і більш.

Зросли вимоги до транспортування величезних мас вихідних матеріалів для прокату. Тому надійність підйомно-транспортних пристроїв підвищується, так як ці пристрої працюють при високих температурах (в зв'язку з контактом гарячого металу з деталями), механічних впливах (ударні й фрикційні навантаження) і забрудненнях атмосфери повітря виробничих приміщень (газами, пилом). Зрозуміло, ці виділення можуть викликати зниження експлуатаційної надійності обладнання і приводити до передчасного виходу з ладу його елементів.

Виробничі будівлі прокатних цехів мають великі обсяги і площі, що вимагає великих витрат на прибирання приміщень, снігових покривів з покрівлі, на мийку зашкленних віконних прорізів і т.д.

Для проведення операцій нагріву вихідних матеріалів для прокатки використовують в основному газоподібне паливо, згоряння якого призводить до утворення газів (оксиди азоту, сірки та ін.). Охолодження прокатних виробів та проведення термічної обробки в потоці за прокатним станом вимагають великих обсягів води, а, отже, пристроїв для очищення і введення її в оборотне водопостачання.

Таким чином, при виробництві прокату з чорних металів мають місце великомасштабні механізовані технологічні процеси, застосовуються високопродуктивні машини і агрегати, що дозволяють проводити обробку металу різного призначення в великих кількостях. Зміни в складі атмосфери термічного цеху можуть викликатися виходом продуктів горіння палива через відкриті вікна і нещільності печей, випаровуванням розплавлених солей з печей-ванн, витоком газів з печей для хіміко-термічної обробки, а також з печей із захисною атмосферою, випаровуванням масла і виділенням продуктів його згоряння з гартівних масляних баків, виділенням газів, що утворюються при згорянні різних

забруднень, неминуче наявних на поверхні виробів, що піддаються термічній обробці у печах. Деякі з газів, що утворюються, є токсичними (наприклад, ціаністий водень), інші чинить подразнюючу дію на дихальні шляхи (наприклад, аміак). Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (ГДК) в повітрі робочої зони визначаються ССБТ (ГОСТ 12.1.005-76) [35].

Запилення атмосфери цеху частинками твердих матеріалів, присутніх в атмосфері у вигляді аерозолів, відбувається різними шляхами: внесенням частинок пилу разом з повітрям, що поступає в цех завдяки аерації, внаслідок застосування в цеху сипучих матеріалів і матеріалів, які легко дробляться (наприклад, вогнетривкі і теплоізоляційні матеріали, засипки для хіміко-термічної обробки), забрудненнями на поверхні деталей, що надходять в цех на обробку, застосуванням різноманітних технологічних матеріалів (карбюризатор, солі, пісок). Деякі з цих речовин, присутні в повітрі у вигляді аерозолів, також є шкідливими. У виробничих умовах шуми сприймаються людським вухом через повітряне середовище у вигляді звуків різної сили і тону (висоти). Допустимі рівні шуму на робочих місцях і загальні вимоги щодо захисту від шуму передбачені ССБТ (ГОСТ 12.1.003-83) [36].

За частотним складом шуми підрозділяються на низькочастотні (до 300 Гц) – шуми тихохідних агрегатів не ударної дії, а також шуми, що проникають крізь ізолюючі перешкоди (стіни, перекриття, кожухи), допустимий рівень 90-100 дБ; середньо частотні (300-1000 Гц) – шуми більшості механізмів і агрегатів не ударної дії, допустимий рівень 85-90 дБ; високочастотні (понад 1000 Гц) – дзвінки, шиплячі і свистячі шуми, характерні перш за все для агрегатів швидкісної дії.

Характеристикою постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску в октавних смугах з середньо геометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Основні засоби боротьби з шумом і вібраціями полягають в усуненні джерела їх виникнення. Якщо це неможливо в силу специфіки застосовуваного обладнання або технології, зниження рівня шуму досягається застосуванням засобів

звукопоглинання типу кожухів, які обкладаються звукопоглинальними матеріалами.

5.2 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту працівників

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

Основними засобами індивідуального захисту при процесах термічної обробки є: спеціальне взуття, спеціальний одяг, окуляри, респіратори. Для захисту шкірних покривів і профілактики шкірних захворювань застосовують захисні дерматологічні засоби: пасти, мазі, спеціальні миючі та очищувальні засоби.

Захисні окуляри, маски, щитки для захисту очей від механічних, пилових, хімічних і термічних уражень бувають відкритого і закритого типів. Окуляри відкритого типу (С-2, С-3, ОЗК і ін.) Застосовують для захисту очей від механічних пошкоджень. Окуляри закритого типу (С-1, С-12, С-33 і ін.) Застосовують для захисту очей при використанні пневмо-інструменту і при роботах в замкнутому просторі. Окуляри закритого типу ПО-2 з герметичною оправою - напівмаскою служать для захисту очей від впливу отруйних речовин і твердих осколків, що летять з усіх боків. Для індивідуального захисту органів слуху від шуму при роботах в машинно-котельних відділеннях застосовують вкладиші, навушники і шоломи. Найбільш ефективним засобом захисту органів слуху від шуму є проти шумні навушники типів ВЦНІОТ-7, 2М, ЧС, А1,7І, ПШ. Вони знижують рівень звукового тиску при частотах в діапазоні від 125 до 8000 Гц на 4-45 дБ. Утримуються навушники дугоподібної пружиною, шоломом або еластичною стрічкою. Вимоги, що пред'являються до них, встановлені ГОСТ 12. 1.012-90 ССБТ «Вібраційна безпека » [37], а також ДСН 3.3.6.039-99. «Державними санітарними нормами вібрації робочих місць » [38].

Для захисту органів дихання від шкідливих парів, пилу і газів застосовують фільтруючі і ізолюючі апарати. ГОСТ12.4.034 - 85 ССБТ «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація » [39], ГОСТ 12. 4. 041 - 89 ССБТ«

Респіратори фільтруючі. Загальні вимоги » [40], ГОСТ 12. 4. 042 - 78 ССБТ« Протигази промислові фільтруючі. Загальні вимоги" [41]. Відповідно до ГОСТ 12. 4.034–85 [39] в залежно від призначення респіратори поділяються на протипилові, протигазові і універсальні.

Якщо в умовах виробництва неможливо повністю усунути шкідливі домішки до гранично допустимих норм, застосовуються індивідуальні засоби захисту органів дихання. До них відносяться: фільтруючі протигази, респіратори і ізолюючі протигази. Фільтруючі протигази і респіратори здатні очистити повітря перед тим, як він надійде до органів дихання.

Розрізняють шлангові і кисневі апарати. Шланговий апарат складається з гумової маски і шланга, довжина якого залежить від видалення джерела чистого повітря. Кисневий апарат ізолює повністю людини від навколишнього забрудненої атмосфери.

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 [42].

Керівники дільниць повинні періодично інструктувати працівників щодо правильного застосування засобів індивідуального захисту і догляду за ними. Адміністрація зобов'язана забезпечувати збереження, прання, сушіння, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію і ремонт виданих працівникам спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.

На дільницях ціанування, свинцевих ванн і рідинного азотування термічного цеху необхідно вживати заходів, що унеможливує винесення працівниками спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту за межі цеху і вихід працівників цих ділянок у спецодязі.

Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту працівників дільниць ціанування, рідинного азотування і свинцевих ванн повинні зберігатися

окремо від засобів індивідуального захисту працівників інших ділянок термічних цехів.

5.3 Техніка безпеки при роботі з печами

При обслуговуванні електропечей повинні бути дотримані наступні вимоги безпеки [43]:

1. Всі струмоведучі частини електропечей, з якими можливе зіткнення обслуговуючого персоналу, повинні бути ізольовані або огорожені;

2. Щити керування електропечей повинні бути закритого типу. Допускається влаштування відкритих щитів панельного типу, але тільки в спеціально відведених для них ізольованих приміщеннях з вікнами для спостереження за приладами. На щитах і пультах управління електропечей повинна бути світлова сигналізація про подачу напруги на нагрівальні елементи і про роботу блокувальних пристроїв.

3. Електропечі з ручним завантаженням і розвантаженням деталей повинні бути обладнані блокувальними пристроями для автоматичного зняття напруги з нагрівальних елементів при відкриванні дверцят печі.

4. Усі струмопровідні частини електропечей повинні бути ізольовані або огорожені. Огороджувальні пристрої та інші металеві струмоведучі частини повинні бути заземлені.

5. В електропечах з примусовою циркуляцією робочої атмосфери, в якій не виключається викид гарячого газу через відкритий отвір, повинен бути передбачений блокувальний пристрій, що відключає живлення електродвигунів пічних вентиляторів перед відкриттям дверцят або кришки.

6. У печах з механізованим підйомом і опусканням дверцят або заслінок робочих вікон або кришок повинна бути забезпечена можливість зупинки дверцята в будь-якому проміжному положенні, автоматична зупинка механізму підйому і опускання в кінцевих положеннях і виключена можливість падіння дверцят при відключенні механізму.

7. Печі повинні мати автоматичне регулювання температури. При підвищенні температури вище встановленої, повинні включатися світлові і звукові сигнали.

8. Робочі площадки, розташовані над склепінням електропечі, повинні бути теплоізольовані.

9. Завантаження, розвантаження, огляд, ремонт, очищення електропечей повинні здійснюватися при повністю знятій напрузі, щоб уникнути короткого замикання і ураження електричним струмом.

10. Вся група електропечей повинна мати аварійний вимикач, який має відповідний напис і розміщений по змозі ближче до печей. Доступ до аварійного вимикача повинен бути завжди вільний.

5.4 Заходи з охорони навколишнього середовища

При проведенні процесів термічної і хіміко-термічної обробки повинні бути передбачені заходи захисту працюючих від можливого впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів по ГОСТ 12.0.003-74 [44]. Концентрації речовин, що володіють шкідливими властивостями, і рівні фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати значень, встановлених санітарними нормами.

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

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

Для знешкодження стічних вод проводяться наступні заходи: стічні води повинні перед скиданням проходити різні методи очищення, що забезпечують

концентрацію шкідливих речовин у воді не вище гранично допустимої; після обробки, відстоювання й фільтрування стічні води скидаються в побутову каналізацію.

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

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

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

Висновки

В даній роботі було розглянуто питання з охорони праці та техніки безпеки при термічній обробці, а саме: небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що мають місце при термічній обробці; вимоги до засобів індивідуального захисту працівників; правила техніки безпеки при роботі з печами; заходи з охорони навколишнього середовища.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що виникають при термічній і хіміко-термічній обробці, поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні.

До фізичних факторів належать: підвищена температура повітря робочої зони, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищені або знижені вологість і рухливість повітря, небезпечний рівень напруги в електричних колах обладнання, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, шуму та вібрації на робочому місці, рухомі машини і механізми, переміщувані вироби та матеріали. До хімічних факторів відносяться загально токсичні, дратівливі, канцерогенні. Психофізіологічні чинники включають фізичні і нервово-психологічні перевантаження.

Для зменшення забруднення атмосфери проводяться наступні заходи: застосування систем газозуловлення й газоочищення, заміна технологічних процесів з більшим газовиділенням на удосконалені.

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

Для зменшення забору води із джерел і забезпечення її якості необхідно застосовувати системи оберненого водопостачання.

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

ВИСНОВКИ

Хромосиліціювання залізовуглецевих сплавів проводять із метою підвищення зносостійкості в умовах тертя ковзання (із мастилом і без змащення), високотемпературної газової та електрохімічної корозії, абразивного зношування, фреттінгкорозії, опору ерозії і кавітації. Хромосиліціювання можна здійснювати практично всіма відомими методами та способами. Для промислового застосування найбільш відомі: порошковий метод насичення та насичення з розплавлених солей з відновниками (без електролізу). Під час порошкового методу насичення

використовують насичення середовища, як на базі чистих елементів, так і метало-термічних сумішів (на базі оксидів насичують елементів).

ХТО істотно змінює фізико-хімічні властивості поверхневих шарів, та є одним з ефективних та широко застосовуються в промисловості методів підвищення надійності та довговічності деталей машин, інструментів.

При хіміко-термічній обробці досягається набагато більше відмінність у властивостях поверхневих шарів та серцевини, ніж при інших видах поверхневої термічної обробки. Це пояснюється тим, що при механічних та термічних методах зміцнення поверхні змінюється тільки будова (структура) поверхневих шарів, а при хіміко-термічній обробці, крім того, змінюється їх хімічний склад, що значно розширює сферу варіювання фізико-механічних властивостей.

Жаростійкість залежить від численних зовнішніх та внутрішніх факторів. Перш за все за жаростійкість відповідає поверхня металу та чистота її обробки. Поліровані поверхні окислюються більш повільно, так як оксиди розподілені рівномірно та більш міцно розташовані із поверхнею металу.

Підвищення жаростійкості сплавів можна досягти легуванням елементами (хром, алюміній, кремній), які утворюють на зовнішній поверхні непроникні для іонів основного металу та кисню оксидні плівки.

Трубчасті теплообмінники знайшли широке застосування в парових системах з температурою середовищ вище 200 градусів і тиском вище 25 атмосфер. У всіх інших випадках доцільно застосовувати пластинчасті теплообмінники, так як вони будуть дешевшими, займати менше місця і зручними в експлуатації.

Теплообмінник часто конструюють з U-подібними трубками, відкриті кінці яких завальцьовані в одну і ту ж трубну решітку. При запуску в роботу теплообмінників необхідно звернути увагу на напрямок руху робочих тіл. Гаряча (охладжуюча) рідина повинна опускатися (подача зверху), а холодна (нагріваюча) - підніматися. В цьому випадку отримуємо протитечію, яка забезпечує краще термічне зрізання.

Визначення жаростійкості проводять по ГОСТ 6130-71. Даним ГОСТом виділено три методи визначення жаростійкості металів і сплавів. Жаростійкість

визначають після витримки зразків у печі з встановленої середовищем або в повітрі протягом заданого часу при постійній температурі наступними методами:

- ваговими - по зменшенню маси зразка;
- по збільшенню маси зразка;
- безпосереднім вимірюванням глибини корозії;
- комбінованим — поєднанням вагового методу або методу безпосереднього вимірювання зразка.

Ваговий метод визначення жаростійкості по збільшенню маси зразка. Перед випробуванням тиглі із зразками зважують з точністю $\pm 0,1$ мг та потім поміщають в піч для випробувань. Збільшення маси зразка визначають за різницею результатів зважування холодного зразка до випробування і безпосереднього зважування в процесі випробування або після охолодження зразків у тиглях, попередньо закритих кришками з жаростійкого матеріалу.

В результаті проведення дослідження можна зробити наступні висновки та рекомендації:

Підвищення експлуатаційних властивостей, а саме підвищення жаростійкості матеріалу трубок теплообмінника може бути здійснено двома шляхами.

Перший полягає в заміні сталі 12Х18Н10Т, працюючій в необробленому вигляді при температурах ~ 850 °С, на високо хромисту сталь 15Х25Т, що працює при температурі > 1050 °С.

Другий шлях підвищення жаростійкості трубок теплообмінника проведення дифузійної металізації для поверхневого шару трубок, що контактують з окислювальним середовищем при підвищеній температурі.

Для підвищення жаростійкості шляхом дифузійної металізації, рекомендується проводити хромосиліціювання в порошкоподібному твердому карбюраторі в герметичних контейнерах.

Для уточнення мікроструктури поверхневого шару слід провести, крім металографічного аналізу, ще й структурно-фазовий аналіз на фазовому аналізаторі - ДРОН-4-07.

Для збільшення точності експерименту на жаростійкість на 3-х зразках, з витримкою 25, 65, 100 годин, при температурах випробування 800 і 1000 °С.

На виконання науково-дослідної роботи було витрачено $V_{\text{нд.}} = 6,348,90$ грн.(шість тисяч триста сорок вісім гривень дев'яносто копійок).

$$V_{\text{матер.}} = 359,00$$

$$V_{\text{доп.матер.}} = 156,00 + 17,90 + 23,00 + 29,00 + 50,00 + 150,00 = 425,90 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{енерг.}} = 1340 \text{ грн.}$$

$$A_{\text{обл.}} = 884,00 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{робіт}} = 1740,00 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{прац}} = 1600,00 \text{ грн.}$$

В даній роботі було розглянуто питання з охорони праці та техніки безпеки при термічній обробці, а саме: небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що мають місце при термічній обробці; вимоги до засобів індивідуального захисту працівників; правила техніки безпеки при роботі з печами; заходи з охорони навколишнього середовища.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що виникають при термічній і хіміко-термічній обробці, поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні.

До фізичних факторів належать: підвищена температура повітря робочої зони, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищені або знижені вологість і рухливість повітря, небезпечний рівень напруги в електричних колах обладнання, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, шуму та вібрації на робочому місці, рухомі машини і механізми, переміщувані вироби та матеріали. До хімічних факторів відносяться загально токсичні, дратівливі,

канцерогенні. Психофізіологічні чинники включають фізичні і нервово-психологічні перевантаження.

Для зменшення забруднення атмосфери проводяться наступні заходи: застосування систем газоуловлення й газоочищення, заміна технологічних процесів з більшим газовиділенням на удосконалені.

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

Для зменшення забору води із джерел і забезпечення її якості необхідно застосовувати системи оберненого водопостачання.

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

Список використаних джерел

1. Гурьев, А. М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, И. А., Гармаева. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2013. –221 с
2. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л. С. Борирование, хромосилицирование стали / Л. Г. Волошнин, Л.С. Ляхович. – М.: Металлургия, 1978. – 239 с.
3. 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.
4. Гурьев А. М., Лыгденов Б. Д., Власова О. А. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов . Фундаментальные исследования / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов. – М.: Мир 2008. – 48-50с.
 5. Петрова Л. А. Словарь терминов по металловедению и термической обработке на 4-х языках / Л. А. Петрова. – М.: Наука, 1989. – 208с.
 6. Нестеренко Е. А., Бартенкова Е. В. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхностей сплавов / Е. В. Бартенкова, Е. А. Батаева . – М.: Машиностроение, 2007. – 204с.
 7. Дубинин Г. Н., Рыбкин В. Ф., Жавотченко А. Д. Техника приводной связи. Вопросы радиоэлектроники. / Г. Н. Дубинин, В. Ф. Рыбкин. – М.: Машиностроение, 1973. – 63–73с.
 8. Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов / А. П. Гуляев. – М.: Metallurgy, 1986. – 544с.
 9. Суминов И. В., Белкин П. Н., Эпельфельд А. В. Плазменно-электрическое модифицирование поверхности металлов и сплавов / И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эпельфельд. – М.: Мир 2011. – 357с.
 10. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах / Б. С. Бокштейн. – М.: Metallurgy, 1978. 248с.
 11. Шьюмон, П. Диффузия в твердых телах / Пер. с англ. Б. С. Бокштейна. – М.: Metallurgy, 1966. – 195 с.
 12. Григорович В. К. Электронное строение и термодинамика сплавов железа / В. К. Григорович. – М.: Машиностроение. 1970. – 292с.
 13. Гурьев А. М., Хараев Ю. П. Теория и практика получения литого инструмента / А. М. Гурьев ; Алт. гос. техн. ун-т им. И.П. Ползунова. – Барнаул : АлтГТУ, 2005. – 22 с.
 14. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин. – М., Metallurgy, 1983. – 360с.

15. Биронт В. С., Гурская В. Ю. Теория термической обработки металлов: Лабораторный практикум / В. С. Биронт, В. Ю. Гурская; СФУ: ИЦМиЗ – Красноярск, 2007. – 100 с.
16. Кришталл М. А. Механизм диффузии в железных сплавах / М. А. Кришталл. – М.: Metallurgy, 2003. – 400с.
17. Ковнеристый Ю. К., Осипов Э. К., Трофимова Е. А. Физикохимические основы создания аморфных металлических сплавов / Ю. К. Ковнеристый, Э. К. Осипов, Е. А. Трофимова. – М.: Наука, 1983. – 145с.
18. Фетисов Г. П., Гарифуплин Ф. А. Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. – Москва: Оникс, 2007. – 624 с.
19. Edgar Lara-Curzio, R. Trejo, K. L. More, P. A. Maziasz and B. A. Pint. Screening and evaluation of materials for microturbine recuperators. Austria, GT 2004-54254
20. Pint B., More K. Stainless steels with improved oxidation resistance for recuperators. Austria, GT 2004-53627.
21. Банных О. П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников. Учебное пособие / О. П. Банных. – СПбНИУ ИТМО, 2012. – 42 с.
22. Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н. В. Барановский, Л. Н. Коваленко. – М., «Машиностроение», 1973. –288 с.
23. Аронсон К. Э., Блинков С. Н, Брезгин В. И., Бродов Ю. М., Купцов В. К., Рябчиков А. Ю., Ниренштейн М. А., Плотников П. Н. Теплообменники энергетических установок / К. Э. Аронсов, С. Н. Блинков. – М.: Наука, 2006. – 747с.
24. Гуляев, А. П. Материаловедение: учебник / А. П. Гуляев. – 5-е изд., перераб. – М. : Metallurgy, 1978. – 647с.
25. ГОСТ 6130-71 Металлы. Методы определения жаростойкости. – М. : Госком. СССР по стандартам, 1990. – 12 с.
26. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
27. Фетисов Г. П. Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов. – М. : Высшая школа, 2001. — 640 с.

28. Проников, А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
29. Сорокин В.Г., Волосников А.В., Вяткин С.А. и др. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосников, С. А. Вяткин. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
30. Ляхович, Л. С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Под ред. Л. С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 650 с.
31. Зиньковская А. И. «Сметное дело». Часть I: конспект лекций / А. И. Зиньковская; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 282 с.
32. ГОСТ 12.3.004-75. Система стандартов безопасности труда. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности.
33. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
34. Кобевнік В. Ф. Охорона праці / В. Ф. Кобевник. – К. : Вища шк., 1990. – 286 с.
35. ГОСТ 12.1.005-76. Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.
36. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
37. ГОСТ 12. 1. 012 - 90 ССБТ Вібраційна безпека.
38. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні нормами вібрації робочих місць.
39. ГОСТ 12.4.034 - 85 ССБТ Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація .
40. ГОСТ 12. 4. 041 - 89 ССБТ Респіратори фільтруючі. Загальні вимоги.
41. ГОСТ 12. 4. 042 - 78 ССБТ Протигази промислові фільтруючі. Загальні вимоги.
42. ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
43. НПА ОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

44. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартів безпеки праці. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

САНД

ДОДАТКИ

СУМДУ