

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2021 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Зносостійкість багат шарових покриттів, отриманих дифузійним хромованням азотованих сталей»

Студента гр. МТ.м-01	_____	Кравченка В.В.
Керівник	_____	Харченко Н.А.
Консультант з економічної частини	_____	Берладір Х.В.
Консультант з охорони праці	_____	Говорун Т.П.
Нормоконтроль	_____	Дегула А.І.

Суми 2021

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

« _____ » _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кравченко Віталій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Зносостійкість багат шарових покриттів, отриманих дифузійним хромуванням азотованих сталей»

Затверджена наказом по університету від «24» листопада 2021 р.
№ 0917-VI.

2. Термін здачі студентом роботи _____.

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

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки: огляд літературних джерел; методика дослідження; проведення експериментальних досліджень; економічна частина; охорони праці; навколишнього середовища та техніка безпеки; висновки; список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення у роботі немає так, як робота дослідницького характеру.

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Літературний огляд		виконано
2	Розділ 2. Вибір матеріалу та методів дослідження		виконано
3	Розділ 3. Експериментальна частина		виконано
4	Розділ 4. Економічна частина		виконано
5	Розділ 5. Охорона праці		виконано

Дата видачі завдання _____ 2021 р.

Студент: _____ Кравченко В.В.
(підпис)

Керівник: _____ Харченко Н.А.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Кравченко В.В. Зносостійкість багат шарових покриттів, отриманих дифузійним хромуванням азотованих сталей. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2021.

Робота присвячена дослідженню впливу одного з ефективних способів зміцнення поверхні сталі У8А - хіміко-термічній обробці а саме після процесу дифузійного хромування попередньо азотованих сталей.

Проаналізовано вплив сформованого комплексного карбідного та нітридного покриття на зносостійкість сталі У8А. Розроблене нове програмне забезпечення яке дозволяє спрогнозувати величину зносу сталі У8А після хіміко-термічної обробки.

Ключові слова: СТАЛЬ У8А, ХРОМ, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ДИФУЗІЙНЕ ПОКРИТТЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Kravchenko V.V. Wear resistance of multilayer coatings obtained by diffusion chromium plating of nitrated steels. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty

132 – applied materials science. – Sumy State University, Sumy, 2021.

The work is devoted to the study of the influence of one of the effective ways to strengthen the surface of U8A steel - chemical-heat treatment, namely after the process of diffusion chromium plating of pre-nitrated steels.

The influence of the formed complex carbide and nitride coating on the wear resistance of U8A steel is analyzed. Developed new software that allows you to predict the amount of wear of U8A steel after chemical heat treatment.

Keywords: U8A STEEL, CHROME, CHEMICAL-THERMAL PROCESSING, DIFFUSION COVERING, WEAR RESISTANCE

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 81 сторінки, у тому числі 7 таблиць, 13 рисунків, бібліографії із 65 літературних джерел на 6 сторінках, 2 додатки.

Мета роботи – дослідження впливу азотування та наступного дифузійного хромування на мікроструктуру, мікротвердість та зносостійкість сталі У8А.

Задачі досліджень – провести аналіз існуючих технологій і проблем підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей методами нанесення покриттів; дослідити мікроструктуру сталі У8А, проаналізувати зміни структури та складу; провести дослідження впливу хіміко-термічної обробки на механічних властивості сталі У8А.

Об'єкт дослідження - дифузійне покриття на основі карбідів та нітриду хрому на сталі У8А.

Предмет дослідження – склад, структура, характеристики, карбідних та нітридних покриттів на основі хрому та їх взаємозв'язок з твердістю та зносостійкістю сталі У8А.

Методи досліджень – Мікроструктурний аналіз, дюрOMETричний аналіз, зносостійкість при терті ковзанні без змащування по приведеному зносу. Програмне забезпечення «Астра» з базою термодинамічних даних для визначення фізико-хімічних умови процесів нанесення карбонітридних покриттів. Експериментальну частину роботи проводили з використанням сучасного обладнання в лабораторних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів. Досліджено вплив процесів азотування та дифузійного хромування на властивості сталі У8А. Вперше запропоновано сучасний процес дифузійної металізації попередньо азотованої сталі У8А. Нітридний шар безпосередньо прилягає до основи, карбідний розташовується на поверхні нітридного. Вперше визначено що в результаті азотохромування формуються захисні шари карбіду хрому і нітриду хрому.

Розроблено сучасне програмне забезпечення для прогнозування величини

зносу. Встановлено що нітридний шар є перешкодою для дифузії заліза основи. Вперше показано, що в результаті випробувань сталі У8А після азоотехромування на знос в умовах тертя ковзання без змащування відбувається перенос матеріалу контртіла сталь 65Г на покриття біля зони безпосереднього контакту.

Ключові слова: СТАЛЬ У8А, ХРОМ, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ДИФУЗІЙНЕ ПОКРИТТЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ЗМІСТ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
Висновки.....	24
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Характеристика та властивості сталі У8А.....	25
2.2 Методика нанесення покриття на сталь У8А.....	26
2.3 Аналіз термодинамічної системи.....	30
2.4 Мікроструктурний аналіз.....	30
2.5 ДюрOMETричний аналіз.....	32
2.6 Визначення зносостійкості.....	32
2.7 Розробка програмного забезпечення для розрахунку значення прогнозованої величини зносу.....	34
2.8 Мікрорентгеноспектральний аналіз.....	35
Висновки.....	37
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	38
3.1 Результати аналізу термодинамічної системи.....	38
3.2 Результати металографічних досліджень структури.....	40
3.3 Мікрорентгеноспектральний аналіз поверхні сталі У8А.....	41
3.4 Мікротвердість дифузійних шарів.....	43
3.5 Результати випробувань на зносостійкість.....	44
3.6 Мікрорентгеноспектральний аналіз лунки зношування сталі У8А.....	47
3.7 Використання програмного забезпечення з прогнозування величини зносу.....	49
Висновки.....	50

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	51
4.1 Теоретична частина.....	51
4.2 Практична частина.....	54
Висновки.....	59
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	60
5.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при термічній обробці.....	60
5.2 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту працівників.....	65
5.3 Техніка безпеки при роботі з печами.....	68
5.4 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	69
Висновки.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТОК А.....	80
ДОДАТОК Б.....	81

ВСТУП

Актуальність роботи. В процесі експлуатації сталевих деталей і інструменту найбільш інтенсивним зовнішнім впливам піддаються їх поверхневі шари, тому нерідко структура і властивості саме поверхневих шарів надають визначальний вплив на працездатність виробів в цілому. Одним з перспективних способів зміцнення поверхні сталевих виробів є хіміко-термічна обробка.

Дифузійне зміцнення сталі економічно вигідніше, ніж отримання легованої сталі з аналогічними властивостями і, як правило, може проводитися на будь-якому підприємстві, що має термічне обладнання. Також можливе поєднання термічної та хіміко-термічної обробки в єдиний процес. В окремих випадках, коли потрібно зміцнення не всієї поверхні, а тільки окремих ділянок деталей, хіміко-термічна обробка з обмазок є практично єдиною можливою в порівнянні з іншими способами.

Мета роботи – дослідження впливу азотування та наступного дифузійного хромування на мікроструктуру, мікротвердість та зносостійкість сталі У8А.

Задачі досліджень – провести аналіз існуючих технологій і проблем підвищення експлуатаційних властивостей інструментальних сталей методами нанесення покриттів; дослідити мікроструктуру сталі У8А, проаналізувати зміни структури та складу; провести дослідження впливу хіміко-термічної обробки на механічних властивості сталі У8А.

Об'єкт дослідження - дифузійне покриття на основі карбідів та нітриду хрому на сталі У8А.

Предмет дослідження – склад, структура, характеристики, карбідних та нітридних покриттів на основі хрому та їх взаємозв'язок з твердістю та зносостійкістю сталі У8А.

Методи досліджень – Мікроструктурний аналіз, дюрOMETричний аналіз, зносостійкість при терті ковзанні без змащування по приведеному зносу.

Програмне забезпечення “Астра” з базою термодинамічних даних для визначення фізико-хімічних умови процесів нанесення карбонітридних покриттів. Експериментальну частину роботи проводили з використанням сучасного обладнання в лабораторних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів. Досліджено вплив процесів азотування та дифузійного хромування на властивості сталі У8А. Вперше запропоновано сучасний процес дифузійної металізації попередньо азотованої сталі У8А. Нітридний шар безпосередньо прилягає до основи, карбідний розташовується на поверхні нітридного. Вперше визначено що в результаті азотохромування формуються захисні шари карбіду хрому і нітриду хрому.

Розроблено сучасне програмне забезпечення для прогнозування величини зносу. Встановлено що нітридний шар є перешкодою для дифузії заліза основи. Вперше показано, що в результаті випробувань сталі У8А після азоотхромування на знос в умовах тертя ковзання без змащування відбувається перенос матеріалу контртіла сталь 65Г на покриття біля зони безпосереднього контакту.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п’яти розділів, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 81 сторінки, у тому числі 7 таблиць, 13 рисунків, бібліографії із 65 літературних джерел на 6 сторінках, 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

У зв'язку з прискореним розвитком техніки вкрай актуальними стали питання підвищення надійності і довговічності деталей, приладів, установок, підвищення їх якості та ефективності роботи. а, отже, питання економії металів, боротьби з корозією і зносом деталей [1].

Дифузійні покриття володіють істотною перевагою в порівнянні з іншими видами покриттів, перш за все, тому, що міцність зв'язку їх з основним металом в результаті проникнення наноситься речовини в кристалічну решітку матеріалу, що виступає основою, значно перевищує міцність зв'язку інших видів покриттів. Крім того, поступове падіння концентрації речовини по глибині покриття створює менш різку зміну властивостей при переході від металу до зовнішньої поверхні дифузійного шару. Важлива перевага дифузійного насичення полягає також в тому, що незалежно від складності рельєфу поверхні деталей і при наявності вузьких отворів, вони піддаються насиченню з утворенням рівномірного покриття [2].

Для надання поверхні матеріалу деталі властивостей, таких як: підвищена твердість, корозійна стійкість, стійкість до зносу, широко застосовуються дифузійні покриття. Зокрема, виходячи із критичного аналізу сучасних джерел інформації метод термодифузійного хромування можна вважати актуальним [1]. Дифузійне хромування - насичення поверхневі сплавів хромом є одним з процесів хіміко-термічної обробки сплавів . Одержувані покриття успішно підвищують стійкість сталей до різних видів корозії, при легуванні середньо і високовуглецевих сталей підвищується твердість і зносостійкість. Їх адгезійна міцність одна з найвищих серед всіх технологій отримання покриттів. Ця технологія застосовується також і для нержавіючих сталей, що містять у своєму

складі хром, для отримання поверхневого шару з більш високою концентрацією хрому [1-2].

Процес дифузійного хромування полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі хромом при хіміко-термічній обробці виробу або деталі при температурі 900-1400°C у відповідному середовищі. Дифузійне покриття, одержане при хромуванні сталі, складається з карбідів хрому ($(Cr, Fe)_{23}C_6$, $(Cr, Fe)_7C_3$). Глибина дифузійного покриття і його властивості залежать від методів хромування. Застосовують газове і рідинне хромування, в порошкоподібних сумішах і в вакуумі.

При хромуванні в порошкоподібних сумішах деталі упаковують в ніхромові контейнери, витримують в суміші 50% феррохрому, 48% Al_2O_3 і 2% Mn_4Cl впродовж 6-12 год при температурі 1000-1050°C [3].

Проведені в НВО «Медінструмент» експериментальні роботи з дифузійного хромування зуботехнічних борів (інструменту) і фрез показали збільшення зносостійкості і корозійної стійкості інструментів. Процес можна рекомендувати для застосування на інструментах з вуглецевих сталей. На особливо точних інструментах з неіржавіючих сталей при цьому процесі немає стабільності розмірів (відхилення розмірів за допусками в замковій частині кутових борів та ін.) [3].

Механізм утворення дифузійних хромових покриттів, отриманих газотранспортним методом, розглянуто в роботі [4]. Вироби поміщаються в герметичний контейнер, і засипаються порошковою сумішшю, що складається з джерела хрому (елементарний хром або ферохром), інертного розріджувача (зазвичай оксид алюмінію) і активатора. В якості активатора використовуються галогеніди амонію, в основному NH_4Cl . Контейнер нагрівають в сухому інертному газі або у водні до температури 900-1100°C з утворенням покриттів в діапазоні від одиниць до десятків мікрометрів товщиною. Роль активаторів полягає в формуванні галогенідів хрому, що утворюються в результаті хімічної взаємодії продуктів розкладання NH_4X , де X-галоген, при зазначеній

температурі процесу з порошкоподібним хромом. Завдяки більш високому тиску парів в порівнянні з елементарним хромом його галогеніди інтенсифікують транспорт хрому до основи. Хром переноситься на поверхню сталі за допомогою однієї або декількох можливих реакцій осадження [4].

На поверхні сталевій основи хром дифундує в залізо, а газоподібні продукти транспортуються назад в контейнер і регенерують активатор. На сталях, що містять γ -стабілізуючі елементи (що розширюють область стійкого стану аустеніту, наприклад, Ni, Cu, Mn), утворюються тонкі покриття з більш високим вмістом хрому, в той час як α -стабілізуючі елементи наприклад, Cr, Mo, W, V звужують область стійкого стану аустеніту, і збільшують товщину покриттів зі зниженням поверхневого вмісту хрому. Дифузія хрому в залозі має велику швидкість в α -фазі при всіх температурах, це пояснюється більш щільною упаковкою атомів в γ -фазі.

Типове покриття на низьколегованій сталі характеризується наступним фазовим складом: зовнішній шар-карбіди хрому (Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6), внутрішній шар – дифузійна зона, в якій концентрація хрому зменшується від 30-50% мас. (на кордоні з зовнішнім карбідним шаром) до, приблизно, 10% мас. на кордоні зі сталлю. У сталі безпосередньо під покриттям присутній зневуглецьована зона, яка була джерелом вуглецю при утворенні карбідів хрому в процесі створення покриття.

Покриття, що не містять карбіди, можуть бути сформовані на чистому залізі, сталях з попередньо зневуглецьованою поверхнею, або сталях, стабілізованих сильними карбідоутворюючими елементами, такими як титан або ніобій. Покриття, сформовані на сталях, часто містять значну кількість пор і пустот поблизу поверхні трохи нижче карбідного шару [4].

Авторами також проводилося хромування вуглецевих нелегованих сталей AISI 1020 (0,20% C), AISI 1045 (0,45% C), AISI 1095 (1,0% C) при температурі 950 °C і часом витримки 1, 4 і 9 год з використанням в якості активатора NH_4Cl [5, 6]. За даними дифрактометричного аналізу основною фазою на поверхні є

$(\text{Cr,Fe})_2\text{N}_{1-x}$, (що не було обговорено в роботі [4]) також шар складається з карбиду $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$. Слід зазначити, що на сталі AISI 1020 при часу обробки 1 годину також була виявлена фаза $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$. Мікротвердість покриття становила 18 ГПа. При витримці 4 години на сталі AISI 1020 товщина покриття становила близько 7 мкм. На поперечних шліфах не спостерігалось наскрізної пористості. Автори дослідження [4] не наводять концентраційних кривих дифузійних профілів, що ускладнює можливість дати оцінку концентрації хрому в отриманих покриттях.

Автори [7] піддавали дифузійному хромуванню за ідентичною технологією двофазну литу сталь наступного складу: Mn-24%, Al – 8,3% Cr – 5%, Si – 0,38%, Mo – 0,34%, C – 0,45% при температурі 1000 °C впродовж 1-16 год. Товщина отриманих хромованих шарів збільшувалася з 4,43 до 24,02 мкм за параболічним законом. У всіх випадках морфологія поверхні була пористою і гранульованою. Встановлено, що поверхневою фазою є $(\text{Cr, Fe})_2\text{N}_{1-x}$, решта Cr_{23}C_6 , в той час як Cr_7C_3 фаза домінує в підповерхневих шарах хромового покриття. Результати рентгеноструктурного аналізу були підтверджені результатами дюрOMETричного аналізу поверхні. Покриття забезпечує значне поліпшення корозійної стійкості у водному розчині з концентрацією 3,5% мас. NaCl. Також багаторазово збільшується корозійна стійкість в соляному розплаві складу 90 % Na_2SO_4 і 10% NaCl при температурі 877 °C протягом 48 год. В продовженні своїх досліджень автори встановили, що отримане покриття має високу адгезійну міцність і гарну зносостійкість. Даний тип покриття було рекомендовано для нанесення на поверхню виробів, що працюють в умовах тертя [8].

Хромований шар, що містить незначну кількість карбідної фази, і в основному складається з твердого розчину Fe-Cr і нітридів хрому і заліза може бути отримано комплексною обробкою: попереднє хромування з подальшим азотуванням. Так в роботі [5] досліджувався фазовий склад покриття, отриманого хромуванням порошковим методом вуглецевої нелегованої сталі

AISI 1045 (0,45% C) з подальшим плазмовим азотуванням. Проаналізувавши дифрактограми покриття встановлено наступний фазовий склад: твердий розчин Fe-Cr, Cr_2N Fe_3N . Нітридні фази утворюються після плазмового азотування при температурі 530°C. З підвищенням температури азотування до 550°C в нітридному шарі формуються фази CrN і Fe_4N . Після кінцевої обробки отримане покриття складається з більш широких та твердіших нітридних шарів, в порівнянні з шаром твердого розчину. Ці шари також показали кращу зносостійкість і більш низький коефіцієнт тертя в порівнянні з хромованим шаром [5].

Існують роботи, в яких був використаний аналогічний комплекс операцій умови інших, відмінних від [5] технологічних параметрів. На сталі AISI 1020 (0,20% C) при таких температурі-часових умовах: хромування впродовж 4 год при 1300 °C і плазмове азотування - 1 год при 450 °C [6]. За результатами рентгенофазового аналізу виявлено фази CrN, Cr_2N і Cr_{23}C_6 . Твердість отриманого покриття вище 1400 HV, товщина приблизно 25 мкм. При формуванні нітридів і карбідів хрому, збільшується твердість поверхні зразка. Наведені в роботі результати показують, що на поверхні твердість становить 1600 Hv, але поступово знижується з збільшенням глибини шару, виходячи з цього обробка хромуванням і потім азотуванням в плазмі забезпечує поліпшення триботехнічних властивостей вуглецевих сталей.

Аналогічні результати спостерігалися в роботі [7] при обробці сталі AISI 1010 (0,10% C). Однак, слід зазначити відсутність на дифрактограмах карбідів хрому. Імовірно, це пов'язано з невеликим вмістом вуглецю в оброблюваній сталі.

Авторами [8] вивчено дифузійне насичення феритномартенситних сталей хромомарганцевими покриттями з метою захисту від корозії в атмосфері водяної пари при температурі 650 °C. Як і в інших наведених роботах насичення проводилося в порошкової засипці, проте в якості активатора використовувався MnCl_2 , який одночасно служить джерелом марганцю. Стійкість до окислення

феритномартенситної високохромистої сталі P91 була успішно покращена для всіх дифузійних покриттів. Методи, що включають 2-х ступінчасте послідовне або одночасне нанесення хрому і марганцю, призводять до поліпшення корозійної стійкості завдяки утворенню на поверхні оксидів марганцю, які пригнічують випаровування гідрокарбонатів хрому. Після осадження хромований шар складався з карбіду Cr_{23}C_6 , двокомпонентні хромомарганцеві покриття по фазовому складу представляли собою твердий розчин FeMnCr . За результатами випробувань, однокомпонентне хромове покриття показало найбільш високий захисний ефект. На думку авторів це пояснюється повільною швидкістю окислення карбіду Cr_{23}C_6 ; збагачені цим карбідом зони діють як резервуари, що компенсують втрати хрому через випаровування. Результати цієї роботи ілюструють також загальний потенціал карбіду хрому для захисту в середовищі чистої водяної пари.

Подібне дослідження наведено в роботі [9]. Зразки високохромистої мартенситної сталі були покриті хромовмістним шаром при наступних режимах: при температурі $1150\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 16 год з активатором – NH_4I ; при температурі $700\text{ }^\circ\text{C}$ і витримці 10 год, активатор – NH_4Cl . Оксидування в атмосфері чистої пари виявило, що при температурі $650\text{ }^\circ\text{C}$ і атмосферному тиску захисні оксидні плівки, багаті Cr, утворюються за умови, що вміст Cr в покритті є високим, і цього достатньо для підтримки його концентрації на поверхні. Це може статися, при наявності шляхів, що полегшують дифузію. Існує також сильний вплив основного легуючого елемента на формування захисної плівки. Під струменем чистої пари оксиди і гідроксиди хрому лише незначно випаровуються. Благотворний вплив деяких незначних легуючих елементів вже добре відомо, що підтверджено тут ефектом утворення марганцевої шпінелі. Експерименти показали, що хромовмістні покриття добре захищають при атмосферному тиску пари при $650\text{ }^\circ\text{C}$, однак, воно недостатньо захищає при надкритичному тиску пари, тому автори не рекомендують застосовувати його для цих цілей.

Хромування застосовується також для нержавіючих сталей аустенітного класу головним чином для підвищення їх зносостійкості. Так в роботі [2] поверхня сталі AISI 204 (хром – нікель – марганцева сталь) одночасно насичувалася хромом і азотом. Процес проводився з використанням Cr_2N в якості джерела азоту і хрому одночасно, активатор- NH_4Cl . Утворений шар складався тільки з нітридів хрому з твердістю 1000-1400 HV.

У всіх розглянутих вище роботах поверхню зразків, що піддаються хромування, готувалася наступним способом: шліфуванням абразивним кругом з подальшим очищенням і знежиренням етанолом і ацетоном. Однак в роботі [10] для прискорення дифузії хрому використовується техніка SMAT (surface mechanical Attrition treatment) – наноструктурування поверхневих шарів за допомогою бомбардування металевими кульками. Після такої обробки середній розмір зерен сплаву подрібнюється на кілька порядків, сильно збільшується відносна частка міжзерних кордонів, таким чином, зростають коефіцієнти дифузії. Об'єктом дослідження була сталева пластина нелегованої низьковуглецевої сталі (0,11% C). Після обробки цим методом у вакуумованій камері при кімнатній температурі і часу обробки 60 хв створювався поверхневий наноструктурований шар глибиною близько 20 мкм. Середній розмір зерен сталі в поверхневому шарі склав близько 9 нм, і зростав зі збільшенням глибини. Отримана структура стабільна до температури 400°C. Після хромування зразка, обробленого при температурі 400 °C, глибина дифузії хрому склала близько 5 мкм, в той час як на необроблених зразках вдавалося досягти такої товщини покриття тільки при температурі 860 °C. Як і в розглянутих вище роботах фазовий склад шару характеризується наявністю карбідів і нітридів заліза і хрому і твердого розчину Fe-Cr. В результаті процесу хромування на ізотермі дифузії 600 °C протягом 120 хв з подальшим збільшенням температури обробки до 860 °C протягом 90 хв, спостерігалось збільшення товщини хромованого шару зі зменшенням величини зерна і

збільшенням об'ємної частки $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$. Загальна товщина отриманого шару - 20 мкм.

Дослідниками [6] з використанням методу SMAT отримано наноструктурований поверхневий шар товщиною близько 20 мкм на інструментальній сталі. Середній розмір отриманих зерен становить приблизно 10 нм у верхній частині поверхневого шару і поступово збільшується зі збільшенням глибини. Стабільність розміру зерна в наноструктурованому поверхневому шарі зберігається до температури 600 °С (аналогічні дані, крім термостабільності структури, викладені в роботі [5]). Експериментальні дані по хромуванню при температурах нижче 700 °С показали, що глибина дифузії хрому збільшується, утворюючи максимальну товщину 5,2 мкм при температурі 600 °С і витримці 120 хв. Результатом є набагато більш товстий дифузійний хромосодержащий шар, дрібнодисперсні частинки фаз якого дають перевагу для проведення другої стадії хромування при більш високій температурі. За цією методикою зразки, отримані при 600 °С протягом 120 хв, піддавалися подальшому хромуванню при температурі 1050 °С протягом 240 хв, виходячи на загальну товщину покриття 30 мкм, в якому концентрація Cr поступово зменшується. Середній розмір зерен $(\text{Cr, Fe})_{23}\text{C}_6$ у верхній частині поверхні не перевищує 200 нм. Мікротвердість поверхні досягає ~14.5 ГПа, поступово зменшуючись до твердості основного металу.

Одним із сучасних напрямків вдосконалення дифузійних хромових покриттів є їх мікролегування. Зокрема в роботі [7] досліджено процес дифузійного хромування сталі, на яку попередньо нанесено нікелеве покриття, що містить дрібнодисперсний Y_2O_3 . Нанесення нікелевого покриття проводилося гальванічним методом з ванни, що містить мікрочастинки (2,5 мкм) Y_2O_3 . За даними мікрорентгеноспектрального аналізу це покриття містило 7-10 % Y_2O_3 . Після цього зразки піддавалися дифузійному хромуванню порошковим методом при температурі 800 °С протягом 5 год. Дослідження цих зразків методами растрової просвічувальної електронної мікроскопії показали,

що хромований шар, що формується на Ni-Y₂O₃ композиційному покритті, виявився більш дрібнозернистим, ніж на чистих нікелевих плівках, тобто частинки Y₂O₃ уповільнюють зростання зерен при хромуванні. Окислення при температурі 900 °C протягом 20 год показало, що Модифіковане хромовмістне покриття демонструє більш високу окалинотійкість завдяки утворенню дрібнокристалічного і більш щільного покриття. Позитивні ефекти впливу добавки Y₂O₃ на окислення хромованого шару можна резюмувати наступним чином: зростання зерен сповільнюється шляхом «закріплення» їх кордонів, які направляють дифузію Cr до фронту окислення; іони Y з дисперсної фази Y₂O₃-покриття блокують дифузію хрому назовні, яка переважає під час окислення.

Авторами дослідження [8] вивчена можливість мікролегування хромовмістного покриття діоксидом церію. CeO₂. Дисперсійні покриття були виготовлені з використанням звичайного NH₄Cl активованого методу хромування. Як і в іншому описаному випадку [7] хромування проводилося на гальванічно нанесену нікелеву плівку, що містить нанокompозитні частинки CeO₂. Це покриття, в порівнянні з аналогами, приготованими на необробленій і покритій нікелем вуглецевої сталі під час переривчастого окислення при 900 °C в газовій суміші складу 5% O₂ + N₂ показало набагато більш високу стійкість.

У роботах [14, 15] в якості транспортуючого агента для перенесення хрому запропонований йод. Головною перевагою йоду є утворення сполук з низькою енергією дисоціації, що може інтенсифікувати процес транспортування атомів хрому і підвищити його концентрацію на поверхні. Механізм активації йодом аналогічний класичному процесу із застосуванням галогенідів амонію. Головна відмінність-відсутність утворення(NH₃ і Hcl). Хромування проводили протягом 3 год на ізотермі дифузії 900 °C в атмосфері аргону при абсолютному тиску 0,17 МПа. Зразки, що пройшли обробку вивчали в поперечних мікрошліфах методом растрової електронної мікроскопії. В роботі було встановлено що товщина покриття становить близько 4 мкм, поверхнева концентрація хрому близько 90%. Слід зазначити, що використовуваний прилад

не може аналізувати вуглець. Дифузійні хромсовмістні шари, утворені на вуглецевмісних сплавах (наприклад, сталь) містять в своєму складі карбіди. Тому слід припустити, що справжня концентрація хрому дещо менше. Результати дослідження поперечних шліфів показали, що покриття не мають наскрізних пор.

Значне підвищення зносостійкості сталі після дифузійного хромування було показано в роботі Е. М. Морозової і З. Л. Співак [16], які наражали газовій хромуванню в порошках при температурі 1050 °с і витримці 15 год сталі марок 45, 40Х і 20Х. Було встановлено, що хромована сталь володіє значно більшою зносостійкістю в умовах тертя при зворотно-поступальному русі, ніж сталь, яка пройшла азотування або цементацію.

В роботі [17] хіміко-термічна обробка вуглецевих сталей проводилася в реакторі відкритого типу в робочому інтервалі температур 950–1050°С при тривалості ізотермічної витримки 30-60 хв. В якості насичуючих середовищ застосовували суміші порошоків оксидів хрому і алюмінію, хрому, титану, кремнію, алюмінію, металевого йоду і хлористого амонію (транспортні агенти), оксиду ітрію, окису лантану дисперсністю 60-120 мкм. Встановлено що покриття, одержувані при нестационарних температурних умовах, складаються з дифузійної зона. Встановлено, що на поверхні сталей формується силіцид $(Fe,Al)_5Si_3$, під яким розташований α -твердий розчин титану, хрому і кремнію в ж кремнію в залозі, стовпчастої будови. На сталях 45 і У8А на поверхні спостерігається карбід $Cr_{23}C_6$ і Cr_7C_3 . Проведені випробування покриттів на корозійну стійкість показали підвищення цього показника в 1,5-1,7 раза в порівнянні з дифузійними покриттями, отриманими в ізотермічних умовах.

Авторами роботи [18] показана можливість створення на поверхні сталі У8А багатокомпонентних покриттів отриманих шляхом фізичного осадження нітриду титану та наступного дифузійного хромотитаноалітування порошковим контактним методом. Композиція покриттів TiC , TiN при високотемпературному окисленні шарів виконує роль бар'єру, що перешкоджає

зменшенню кількості алюмінію, хрому, титану на поверхні покриття. Поверхневі шари покриттів на основі хрому та алюмінію призводять до створення захисних плівок Cr_2O_3 , Al_2O_3 , що надає їм високу жаростійкість в атмосфері та корозійну стійкість в окислювальних середовищах.

У роботі [19] проведено дослідження насичення поверхні зразків зі сталі 25X1МФ хромом. Для цього використовували метод вакуумного активованого дифузійного хромування. У цьому процесі в якості активатора використовували хлористий натрій. Було встановлено, що вакуумне активоване дифузійне хромування зразків зі сталі 25X1МФ призводить до формування поверхневого шару, що містить від 87 до 97 % цього елемента. При цьому встановлено, що підвищення температури процесу і його тривалості призводить до збільшення вмісту хрому на поверхні зразків. Проведені випробування показали, що в разі кавітаційно-ерозійного впливу на поверхню хромованих зразків зі сталі 25X1МФ вони мають більш високу стійкість. При абразивному зносі стійкість хромованої поверхні сталі в 1,8-3 рази вище в порівнянні з необробленим матеріалом.

Проведене дослідження [20] свідчить про можливість отримання задовольняють вимогам карбідних шарів дифузійного типу з металотермічних сумішей з використанням в якості відновника кристалічного кремнію і силікокальція. Показаний вплив активаторів різного типу на товщину і фазовий склад отриманого шару. Всі карбіди хрому чітко аксіально текстуровані, причому ступінь досконалості текстури зростає в міру зсуву в бік більш високовуглецевого карбіду. Текстура Cr_{23}C_6 не менше ніж трикомпонентна, і жодний з компонентів чітко не переважає. Текстура Cr_7C_3 -Двокомпонентна з переважанням одного компонента. Фаза Cr_3C_2 текстурована і завжди однаковим чином.

У роботах [21, 22] наводяться дані про вплив більш економічних в порівнянні з порошковими сумішами насичуючих обмазок і паст на формування захисного наноструктурного шару в конструкційних і інструментальних марках

сталей. Таким чином, для отримання високого комплексу експлуатаційних властивостей, а також можливості управління цими характеристиками представляє безсумнівний інтерес вивчення впливу складу сталі на формування дифузійного шару і підбір найбільш перспективних складів порошкових сумішей.

У роботі [23] проводили дифузійне насичення сталі У8 з порошкових сумішей на основі аморфного бору, карбиду бору, карбиду бору з додаванням хрому і титану. В якості активатора у всіх сумішах використовували фторид натрію. Масовий вміст бору у всіх сумішах був однаковим, в якості баластної добавки використовували оксид алюмінію. Товщина дифузійного шару і його мікротвердість мають максимальне значення в разі комплексного насичення хромом і титаном (відповідно 78 мкм і 2300 HV), мінімальну товщину і мікротвердість має покриття, отримане насиченням з суміші на основі карбиду бору (12,5 мкм і 1790 HV відповідно). Покриття, отримане насиченням із суміші на основі аморфного бору має проміжні показники – відповідно 28 мкм і 1950 HV.

Існує наукова розробка, яка полягає в дифузійному хромуванні в вакуумі. Метою цього способу є отримання покриттів на виробках складної форми. Застосований хром у вигляді дисперсного особливо чистого порошку який попередньо спікається в спеціальній пресформі по заданому температурному режиму на протязі 1 год. В результаті отримують "хромовий електрод" який відтворює поверхню виробу, що хромується, з можливістю багаторазового використання для хромування. Відповідно до даного способу насичення хромом як з газової, так і твердої фаз реалізується при температурі 1120-1140 °С в вакуумі з залишковим тиском 0,133...0,013 Па [24].

Відомий спосіб дифузійного хромування комплексним методом який включає нанесення на поверхню деталі захисного покриття з розчину, який містить: вуглекислий кобальт, гіпофосфіт калію, бурштиновокислий натрій, гліцин, яблучна кислота, вода. Покриття наносять при температурі 90-95 °С

протягом 60 хвилин, після чого додатково проводять семигодинне дифузійне хромування при 1000-1050 °С, під час якого додатково при досягненні температурі 800 °С проводять ізотермічну витримку протягом 60 хвилин. Після зміцнення формується композитний зміцнений шар товщиною 170 мкм та мікротвердість 12 ГПа. Що дозволяє збільшити ресурс зносостійкості виробу [25].

В способі дифузійного борохромування сталевих виробів запропоновано нанесення на вироби обмазки, що містить: ферохром, фторопласт, нікель, карбід бору, зв'язуюче, яке містить: клей, ацетон. Співвідношення зв'язуючого і борохромувальної суміші встановлюють 1:6. Вироби піддають термообробці при температурі 1100-1200 °С протягом 3-5 хвилин струмами високої частоти. Сформований зміцнений шар має товщину 260 мкм та мікротвердість 15 ГПа [26].

Розроблений спосіб дифузійного хромування у вакуумі сталевих виробів будь-якої форми яке здійснюється у вакуумі не менше 1,33 Па, В даному випадку замість гранульованого хрому використовують мікропорошок хрому. Цей метод забезпечує хромування сталевих виробів з будь-якою складністю, зменшення трудомісткості робіт, застосовуваних матеріалів і оснащення, спосіб дає змогу проводити гартування оброблюваних виробів безпосередньо з температури нагріву при хромуванні в вакуумній печі. Хромування здійснюється у вакуумі, шляхом нанесення перед завантаженням у вакуумну піч на поверхню деталі спеціального мікропорошку хрому, відновленого гідриднокальцієвим методом. Застосування такого порошку виключає приварювання його частинок до поверхні насичуваного виробу при нагріванні до 1180°С завдяки його гранулометричному складу і хімічній чистоті. При цьому одночасно забезпечується щільне прилягання порошку хрому до поверхні виробу. Температура процесу 1100-1120°С. Метод забезпечує отримання дифузійного карбідного покриття товщиною 0,020 мм з мікротвердістю на поверхні 20 ГПа [27].

Висновки

Аналіз літературних джерел показує, що фазовий і хімічний склад, товщина дифузійних шарів залежать від легуючої композиції, в першу чергу від вмісту вуглецю; захисні властивості покриттів визначаються їх товщиною і складом; зносостійкість покриттів також залежить від вмісту вуглецю і азоту; товщина одержуваних покриттів залежить від середнього розміру зерна металу. Нанесення дифузійних покриттів на поверхню сталей дозволяє підвищити їх довговічність та надійність.

Дифузія хрому, та інших металів протікає значно повільніше, ніж вуглецю і азоту. Мала швидкість дифузії перешкоджає широкому поширенню процесів дифузійного насичення в промисловості, так як процес є дорогим, і його проводять при високих температурах (1000-1200 °С) тривалий час. Не дивлячись на це унікальні властивості хромового покриття, можливість економії легуючих елементів при використанні дифузійної металізації обумовили широке використання в промисловості.

Висока твердість і зносостійкість є основними показниками, що визначають застосування методу дифузійного хромування для поверхневого зміцнення виробів, виготовлених із залізобуглецевих сплавів. Такий метод обробки зручний для широкого застосування тим, що виключає необхідність використання додаткового дорогого обладнання і може застосовуватися на будь-якому підприємстві, що володіє стандартним термічним обладнанням.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика та властивості сталі У8А

В якості основного матеріалу при формуванні дифузійних шарів методом хіміко-термічної обробки була обрана інструментальна вуглецева високоякісна сталь У8А. Ця сталь застосовується для виготовлення інструментів, що працюють в умовах, які не викликають розігріву ріжучої кромки: фрези, зенковки, сокири, стамески, долота, пили поздовжні і дискові, накатні ролики, кернери, викрутки, плоскогубці комбіновані, бокові та інші. Хімічний склад сталі наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі У8А, % [28]

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
0,76-0,83	0,17-0,33	0,17-0,33	0,028	0,030	0,20	0,25	0,25	Решт а

Сталь У8А відноситься до вуглецевих сталей невеликої прогартованості, яка не володіє теплостійкістю. Вуглецеві інструментальні сталі цього класу мають невелику прогартовуваність внаслідок нестійкості переохолодженого аустеніту. Саме тому ці сталі застосовують для виготовлення інструментів невеликих розмірів. Вуглецеві сталі можна використовувати в якості ріжучого інструменту, тільки тоді, коли процес різання відбувається при малих швидкостях. Це обумовлено тим, що їх висока твердість сильно знижується при нагріванні вище температури 190-200 °С. Вуглецеві сталі у вихідному стані

мають структуру зернистого перліту, при цьому твердість їх не перевищує 170-180 НВ . У цьому стані вуглецеві сталі легко обробляються різанням. Температура гартування вуглецевої сталі повинна бути трохи вище точки A_{c1} , для того, щоб в результаті гартування отримати мартенситну структуру і зберегти дрібнозернисту не розчинену структуру вторинного цементиту. Значення твердості наведені в таблиці 2.3, в таблиці 2.2 наведено значення температури критичних точок [29].

Таблиця 2.2

Температура критичних точок сталі У8А, °С [28]

Критична точка	A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	M_n
Температура	730	765	700	245

Таблиця 2.3

Твердість сталі У8А в залежності від температури відпуску [28]

Температура відпуску, °С	Твердість, НРС
Гартування 780-800 °С, вода.	
160-200	61-65
200-300	56-61
300-400	47-56
400-500	37-47
500-600	29-37

2.2 Методика нанесення покриття на сталь У8А

Завдання, поставлені в даній роботі, пов'язані з формуванням на сталевих заготовках дифузійних шарів підвищеної зносостійкості. В якості

технологічного процесу, що дозволяє формувати на сталевих заготовках дифузійні шари підвищеної зносостійкості обрані методи азотування та дифузійного насичення контактним способом зразків зі сталі У8А.

Процес азотохромування складається з двох послідовних операцій: азотування та хромування. Процес азотування проводили в печі шахтного типу за температури $540\text{ }^{\circ}\text{C}$, тривалість процесу - 20-36 годин в середовищі аміаку. Схему установки для азотування наведено на рис. 2.1. Ступінь дисоціації аміаку складав 25-35%. Установка для газового азотування складається з герметичної робочої камери, нагрівальної печі, системи газозабезпечення, системи контролю і регулювання температури, тиску і ступеня дисоціації аміаку в робочому просторі печі [30].

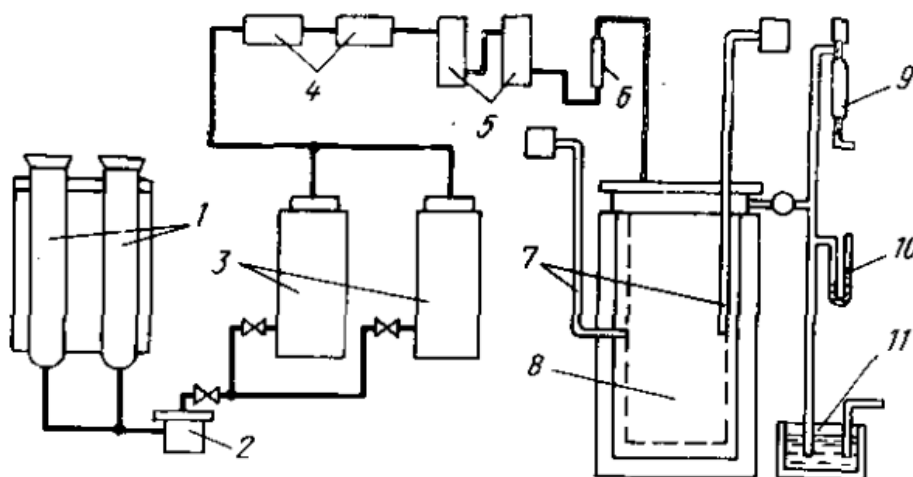


Рисунок 2.1 - Схема установки для азотування [30]:

1 - балони з рідким аміаком; 2 - фільтри; 3 - випарники; 4 - відстійники для очищення газоподібного аміаку; 5 - фільтр тонкого очищення і осушувач; 6 - ротаметр; 7 - термопара; 8 - піч азотування; 9 - дисоціометр; 10 - манометр; 11 - гідравлічний затвор

Після процесу азотування слідує дифузійне насичення в порошках феросплавів яке здійснювали в контейнері за встановленими температурними режимами.

Використовувалися наступні компоненти суміші:

- Оксид алюмінію Al_2O_3 , ЧДА (ТУ 6-09-426-75) 15-25%;;
- Хлористий амоній NH_4Cl (ГОСТ 3773-72) 1-4%.
- Ферохром марки ФХ-025 (ГОСТ 4757-91) решта;

Ферохром широко застосовуються в металургійній промисловості для легування виплавлюваних сталей і чавунів. Ферохром поставляються в кусковому вигляді з розмірами частинок від 2 до 100 мм. у роботі використовували порошки феросплавів, отримані просіюванням через сито з осередком 2 мм. Хлористий амоній, який використовується в якості активатора являє собою сіль, утворену слабкою основою і слабкою кислотою.

Оксид алюмінію, який використовується в якості інертного наповнювача, досить широко поширений в промисловості: в практиці хіміко-термічної обробки виробів, металургійної промисловості. Він володіє хімічною інертністю до більшості реагентів, що знаходяться в безпосередньому контакті з ним при високих температурах, що обумовлено високою спорідненістю алюмінію до кисню. Оксид алюмінію перед використанням в суміші був просушений для видалення вологи.

Перед використанням всі компоненти порошкової суміші прогартувували, просушували і подрібнювали до необхідних розмірів. Оксид алюмінію прогартувували при 800 °С протягом 2 год. після підготовчих операцій компоненти насичуючих сумішей змішували в певних співвідношеннях [29].

Зразки досліджуваних марок сталей вирізалися з металу виробів, потім шліфувалися і полірувалися. Поверхня зразків попередньо знежирювалася.

Упаковка контейнера проводиться в наступному порядку (рис. 2.2). На дно контейнера поміщають ущільнений шар суміші, товщиною 20-30 мм, потім укладають шар виробів так, щоб відстань до стінок тигля і між деталями було

не менше 15-20 мм. Оброблювані вироби повинні бути попередньо зачищені від слідів окалини, іржі, інших забруднень і знежирені. Потім контейнер заповнюється порошкоподібною сумішшю і злегка утрамбовується так, щоб товщина шару верхньої засипки над виробами становила близько 30-40 мм. Потім на цій шар укладається лист азбесту з проробленими отворами для відводу газів. На лист азбесту в якості вантажу насипається пісок для запобігання викиду суміші під час нагрівання. Товщина шару піску становить близько 10 мм. Контейнер герметизується плавким затвором, який являє собою порошок борного ангідриду. При нагріванні він розплавляється і утворює щільну склоподібну масу на поверхні піску, тим самим запобігає знеуглецюванню суміші і виробів. [30].

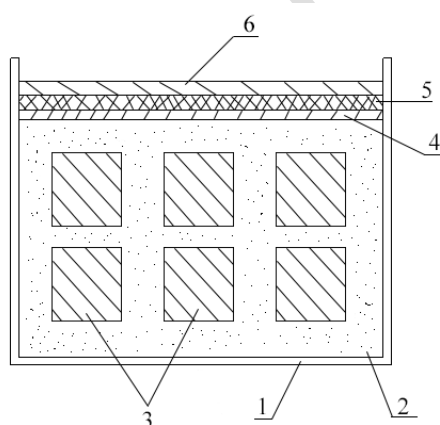


Рисунок 2.2 - Схема упаковки контейнера:

1 - контейнер з нержавіючої сталі; 2 - насичуюча порошкова суміш; 3 - сталевий зразок; 4 - лист азбесту; 5 - пісок; 6 - плавкий затвор (порошок борного ангідриду)

Підготовлений зазначеним способом контейнер з порошковою сумішшю завантажували в камеру печі і нагрівали разом з піччю до температури 1050 °С, далі здійснювали насичення за заданими температурними режимами. По закінченню часу витримки контейнер охолоджували. Після охолодження тигля плавкий затвор розбивали, азбест і пісок витягували, а суміш разом з

обробленими деталями висипали на піддон. Потім відокремлювали залишки суміші від поверхні, деталі промивали у воді і сушили. Якість поверхні контролювали візуально. Товщину дифузійного шару вимірювали на поперечних мікрошліфах.

2.3 Аналіз термодинамічної системи

В роботі розрахункові дослідження виконані за допомогою програми АСТРА [31], створеної для обчислення параметрів рівноваги багатокомпонентних гетерогенних термодинамічних систем.

Формулювання завдання термодинамічного моделювання складається з призначення двох умов рівноваги досліджуваної системи з навколишнім середовищем. Ними можуть бути або чисельні значення термодинамічних характеристик так і функціональні співвідношення між ними. Для опису самої системи, як матеріального об'єкта, необхідно знати лише зміст утворюючих її хімічних елементів. Внутрішні і міжфазні взаємодії описуються модельними термодинамічними співвідношеннями, для замикання яких використовуються властивості тільки індивідуальних речовин - компонентів рівноваги [32].

Всі розрахунки проводяться автоматично з використанням бази даних, яка містить відомості про ентальпії H , ентропії S і теплоємність C_p для хімічних сполук. Розробники програмного комплексу звертають увагу користувачів, що отримані результати можуть служити тільки в якості рівноважного пробного наближення і рекомендують проводити наступний теоретичний аналіз результатів і експериментальну перевірку з урахуванням кінетичних факторів.

2.4 Мікроструктурний аналіз

Вивчення за допомогою оптичного мікроскопа структури металів, В також непрозорих неметалевих матеріалів можливо лише при досить інтенсивному

відображенні світлових променів від досліджуваної поверхні. Тому поверхня зразків повинна бути спеціально підготована. Зразки, поверхня яких готувалася для мікроаналізу - мікрошліфи, вирізалися з досліджуваного металу при дії охолодженні, що виключає нагрів і структурні зміни [33].

При виготовленні мікрошліфів можливе сколювання дифузійного шару, тому зразки готували, закріплюючи їх в струбцинах (спеціальні оправлення) з прокладками з мідної фольги. При цьому забезпечувався жорсткий контакт зразка з оправленням і запобігалось сколювання шару і зміною площі аналізованої поверхні («завал шліфа»).

Шліфування здійснювали на абразивному папері з різним ступенем зернистості. Шліфування здійснювалося на плоскій основі (на склі). Для отримання якісної поверхні мікрошліфа, при шліфуванні послідовно переходили від одного паперу до іншого, з безперервно зменшуються розмірами абразивних частинок. При цьому при кожній зміні паперу шліф повертався на 90°.

При зменшенні розмірів абразивних частинок знижується глибина рисок на поверхні і зменшується товщина деформованого поверхневого шару, одержуваного в результаті шліфування. Зазвичай приймають, що товщина цього шару в 10-15 разів перевищує розмір абразивних частинок.

Після шліфування поверхні зразків слід було полірування. Поліруванням видаляються залишилися після тонкого шліфування дрібні дефекти поверхні, ризики і т. п. Полірування здійснювали на сукні, змоченому водним розчином з частинками оксиду хрому.

Після полірування мікрошліф промивався водою, потім спиртом і просушувався фільтрувальним папером.

Для виявлення мікроструктури поліровані зразки піддавали хімічному травленню. При травленні поверхні застосовували 4% розчин азотної кислоти в етиловому спирті [32]. Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі «МИМ-7»

2.5 ДюрOMETричний аналіз

Визначення мікротвердості проводили на мікротвердомірі «ПМТ-3» при навантаженні 0,5 Н, призначеного для випробування матеріалу на мікротвердість шляхом вдавнення правильної чотиригранної алмазної піраміди з кутом при вершині 136° [33]. Аналізували дані, отримані за результатами вимірювань для зразка.

Зразок закріплювали на пластинки і вирівнювали за допомогою ручного преса щодо нижньої опорної поверхні її так, щоб випробувана поверхня була перпендикулярна осі піраміди. Після цього пластину зі зразком закріплювали на столику приладу.

Вимірювання проводили на косих мікрошліфах [34]. Метод косоного шліфа полягає в тому, що зразок з дифузійним шаром шліфують під невеликим кутом ($\approx 5-6^\circ$), як показано на рис. 2.3.

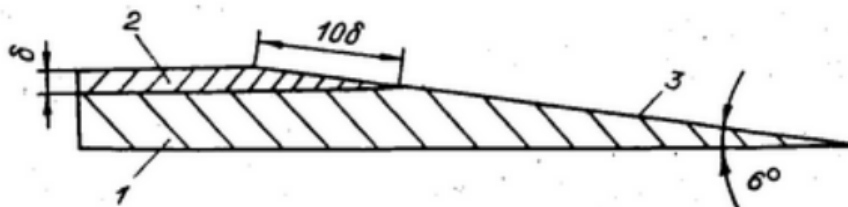


Рисунок 2.3 - Схема приготування косоного шліфа для дослідження структури і виміру мікротвердості дифузійного шару:

1 - основа; 2 - дифузійний шар; 3 - площина шліфа; δ - товщина шару

2.6 Визначення зносостійкості

Зносостійкість досліджуваних матеріалів в умовах тертя ковзання без змащення проводили на машині тертя за схемою «диск - площина» протягом заданого часу, ваговим методом по зменшенню маси зразка. В якості контртіла використовували диск із загартованої сталі 65Г. Обертання диска здійснювалося

з постійною швидкістю, рівною 4 м/с, при навантаженні на пару тертя, що становить 40 Н. випробування проводилися протягом 600 секунд, шлях тертя при цьому дорівнював 2400 м.

В роботі було проведено випробування на знос сталь У8А при терті ковзання без змащування двома методиками за схемою вал-викладка. За методикою 1 контакт відбувається по бічній поверхні циліндричного зразка (викладки). З цієї причини величина зносу була визначена по збільшенню площі лунки зношування. Відповідно до методики 2 контакт відбувається по торцевій поверхні циліндричного зразка (вкладки). Величину зносу оцінили за вагою.

В якості критерію зносостійкості аналізованих зразків використовували масу зношеного матеріалу, яку визначали за допомогою аналітичних лабораторних ваг WA-31 з точністю 0,1 мг. За результатами вимірювань визначалося середнє значення втрати маси. Для кожної суміші проводилися випробування трьох зразків з подальшим визначенням середніх показників втрати маси зношеного матеріалу. Контрольними зразками служили заготовки із загартованої і відпущеної сталі У8А твердість 58-60 HRC.

Для кращої спряженості третьових перерізів зразка і контртіла, зразки притиралися з контртілом протягом 10 хвилин при навантаженні 20 Н. Потім зразки піддавалися хіміко-термічній обробці. Підготовлені до випробування зразки очищалися від залишків суміші шляхом обробки їх поверхні ацетоном.

Порядок проведення випробувань на зношування кожної пари тертя включав кілька стадій. Перша стадія характеризувалася приробітком контактної пари. Через 5 хвилин після початку роботи пара розбиралася, проводилося вимірювання маси зразків. Потім наступала друга стадія, при якій протягом кожних 5 хвилин проводилися поточні вимірювання маси зразків до кінця тривалості випробувань при певній величині навантаження. Зміна маси зразків реєстрували до катастрофічної втрати маси (катастрофічна втрата маси характеризується круто висхідний кривій на графіку залежності втрати маси від часу випробувань).

2.7 Розробка програмного забезпечення для розрахунку значення прогнозованої величини зносу.

Для проведення розрахунку втрати маси багат шарових покриттів при випробуванні на знос було розроблене програмне забезпечення (рис. 3.6) на мові Python, використовуючи математичну модель, що показана в роботі [35], наведено в формулі 2.1. Результат дозволяє отримати значення втрати матеріалу для заданої глибини та при проходженні кожного шару, графік розподілу значень маси по глибині зносу. Включає базу покриттів в текстовому вигляді, зображення 3D моделі прикладу зносу зразка.

$$m_k(z) = \frac{4b\sqrt{d}}{3} \left[\rho_1 z^{\frac{3}{2}} - \sum_{j=1}^{k-1} (\rho_j - \rho_{j+1}) \left(z - \sum_{i=1}^j \Delta_i \right)^{\frac{3}{2}} \right] H \left(z - \sum_{j=1}^{k-1} \Delta_j \right) H \left(\sum_{j=1}^k \Delta_j - z \right) \quad (2.1)$$

де k - номер шару;

b - ширина контргіла;

d - діаметр контргіла;

ρ - щільність шару;

z - глибина зносу;

ρ_{j+1} - основа;

Δ - товщина шару [35].

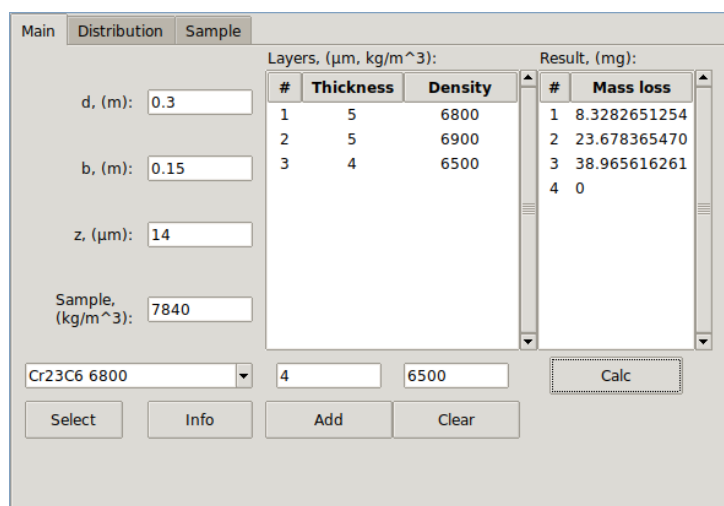


Рисунок 3.6 - Вигляд розробленого програмного забезпечення.

2.8 Мікрорентгеноспектральний аналіз

Для проведення мікрорентгеноспектрального дослідження поверхонь використовують растрові електронні мікроскопи (РЕМ), що володіють великою глибиною фокусу. Зазвичай використовують два режими роботи Рем: у вторинних електронах і назад-відбитих електронах. При невеликих збільшеннях використання назад відбитих електронів дозволяє отримати більш контрастне зображення, за рахунок "тіньових" ефектів [36].

Рентгеноспектральний мікроаналіз є локальним рентгеноспектральним аналізом, який дозволяє якісно і кількісно аналізувати мікрооб'єми порядку декількох кубічних мікрометрів. Збудження рентгенівського випромінювання в зразку здійснюється за допомогою тонко сфокусованого пучка електронів, енергія якого визначає величину аналізованого обсягу.

Аналіз хімічного складу зразка розділяється на дві стадії. Перша стадія-якісний аналіз-полягає у визначенні кількості і типу елементів, що знаходяться в досліджуваній ділянці зразка. Потім виконується кількісний аналіз з визначенням концентрації цих елементів в даній ділянці зразка.

Найбільш часто використовуваний метод аналізу розподілу елементів на площині полягає в отриманні рентгенівського растрового зображення. Ці зображення дають швидкий, якісний огляд розподілу елементів у зразку.

Принцип кількісного рентгеноспектрального мікроаналізу полягає в тому, що інтенсивність емітованого характеристичного рентгенівського випромінювання елементів, що містяться на аналізованому ділянці, є мірою їх концентрації.

У даній роботі методом растрової електронної мікроскопії були досліджені зразки після дифузійного насичення. Дослідження проводили на мікроскопі JSM-6510lv, JEOL при збільшенні x50, x100 і x500. Зображення отримували від детектора вторинних електронів (SEI) при прискорюючій напрузі 20 кеВ.

Рентгеноспектральний мікроаналіз проводили на растровому електронному мікроскопі JSM-6510lv, JEOL з системою мікроаналізу INCA Energy 350.

Ділянки для мікроаналізу вибирали, маніпулюючи положенням предметного столика в камері мікроскопа. Мікроаналіз проводили на ділянках поверхні зразків при збільшенні x100, x200 і x1000. Використовували наступні налаштування мікроскопа для мікроаналізу: прискорювальна напруга на мікроскопі 5-20 кеВ, фокусна відстань - 10 мм. Задавали такі умови набору спектрів при мікроаналізі: час набору спектра - 40 сек, час обробки - 5, набір спектрів в точках і по лінії. Ідентифікацію піків проводили в автоматичному і ручному режимах.

Кількісний аналіз полягає у вимірюванні інтенсивностей відповідних рентгенівських ліній, що генеруються в зразку і належному стандартному зразку складу, при однакових аналітичних умовах (однакові приладові параметри, такі як: прискорювальна напруга, струм пучка, геометрія установки зразка і стандарту і т.д.). Вміст елемента розраховується з відношення інтенсивностей зразка і стандарту і відомої концентрації визначається елемента в стандарті [37].

Результати кількісного аналізу виражали у ваговій концентрації елементів.

Висновки

В розділі був описаний комплекс досліджень які були застосовані та випробування що були виконані в ході роботи роботи. Структура матеріалів досліджена із застосуванням методів оптичної та растрової електронної мікроскопії, рентгенівської дифрактометрії. Раціональний вибір методів дослідження дозволяє отримати достовірну картину про властивості нанесених матеріалів так і матеріалу вцілому, але також необхідно враховувати економічну доцільність використання тих чи інших випробувань.

Визначені методики визначення мікроструктури і хімічного складу, механічних властивостей, дослідження термодинамічної системи. Використання сучасних методів досліджень дають змогу максимально точно визначити будову матеріалу та його властивості.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Результати аналізу термодинамічної системи

Проведений розрахунок в інтервалі температур 500-1500 К, тиск становить 10^2 Па. Визначений склад газових та конденсованих фаз в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Рівноважний склад системи ($T=500-1500$ К, $P=10^2$ Па)

Кількість компонентів, моль	Фази реакційного середовища	
	газова фаза	конденсована фаза
N-C-Fe-Cr=2-3-1-6	N, N ₂ , N ₃ , C, C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ , CN, CN ₂ , N ₂ C, C ₂ N, NC ₂ , C ₂ N ₂ , Fe, Cr, Cr ₂ , CrN	C, Fe, Fe ₂ N, Fe ₄ N, Fe ₃ C, Cr, CrN, Cr ₂ N, Cr ₃ C ₂ , Cr ₇ C ₃ , Cr ₂₃ C ₆

Для аналізу фізико-хімічних умов процесу насичення був застосований термодинамічний підхід, що дозволяє визначити теоретично рівноважний склад замкнутої ізольованої системи. Рівновага в замкнутій системі відрізняється від реальних умов процесу насичення. Можливий фазовий склад покриття визначається ймовірним складом конденсованої фази для конкретної рівноважної системи, співвідношення компонентів в якій може бути різним.

Основними конденсованими фазами є залізо Fe, вуглець C, нітриди хрому CrN і Cr₂N, та карбіди Cr₃C₂ і Fe₃C.

При температурі 500-722 К залізо в основному зосереджено у вільному стані (рис. 3.1). В діапазоні температур 833-1500 К залізо з'єднується з вуглецем з утворенням карбиду заліза Fe₃C.

Азот утворює з хромом нітрид CrN при температурі 500-611 К. При подальшому підвищенні температури фаза CrN зникає, утворюючи таким чином новий нітрид хрому Cr_2N .

Основними вуглецевмісними фазами, в діапазоні температур 500-1500 К, є вільний вуглець і Карбід хрому Cr_3C_2 . Згодом, у міру підвищення температури, утворюється інша фаза, що містить Карбід вуглецю Fe_3C . Переважаючою фазою є карбід хрому Cr_3C_2 .

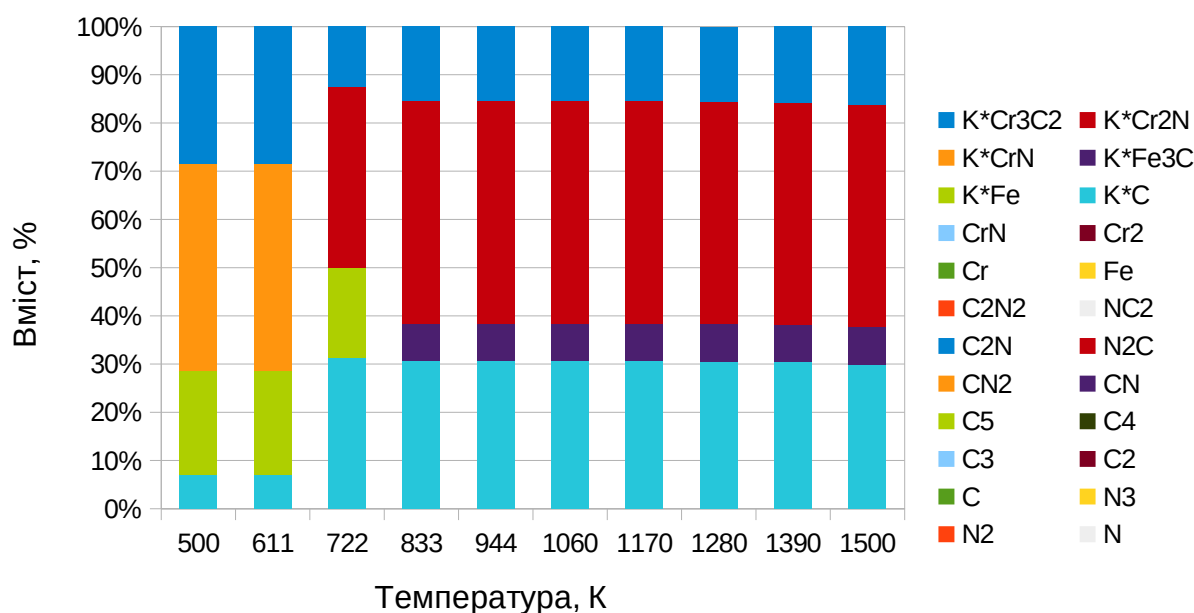


Рисунок 3.1 - Вміст фаз реакційного середовища в залежності від температури

На підставі наведених даних, можна зробити висновок про ймовірність виникання фаз в системі. Фазовий склад покриття який може утворитися буде визначатися гіпотетичним складом конденсованої фази речовини для даної рівноважної системи.

3.2 Результати металографічних досліджень структури

Зразки зі сталі У8А були піддані двом процесам обробки: азотування за температури 540 °С протягом 20-36 годин в середовищі аміаку і дифузійному насиченню при 1050 °С протягом 8 годин в сумішах з порошком феросплавів. Вибір температури насичення і тривалість процесу обрані згідно з даними літературного огляду. При тривалості насичення менше 8 год спостерігається недостатня товщина зміцненого шару, а більше 8 год – надмірна товщина дифузійного шару, що призводить до його сколювання в процесі експлуатації виробу.

Металографічний аналіз показав, що дифузійний шар виявляється у вигляді суцільної зони з чіткою межею розділу. Структура дифузійного шару представлена на рис 3.2. воно складається з двох окремих шарів: Карбід хрому $Cr_{23}C_6$ який сформований зовні, а карбід хрому Cr_7C_3 сформований ближче до основного матеріалу. Азотохромування сталі У8А призводить до утворення багат шарового покриття.

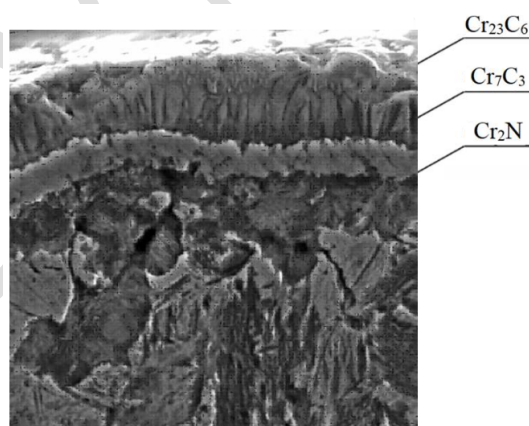


Рисунок 3.2 - Мікроструктура дифузійного шару утвореного після проведення азотохромування, x1000

Після травлення металу мікроструктура зони карбиду хрому Cr_7C_3 набуває стовпчастий характер. Напрямок цих кристалів збігається з напрямком дифузії

карбідоутворюючих елементів. Після азотування під карбідним шаром захисного покриття розташовується шар, фазовий склад якого відповідає нітриду хрому Cr_2N . шар нітриду, являє собою суцільну однорідну білу смугу. Він має прозору міжфазну поверхню з базовим і твердосплавним шарами. Структура складається з карбідного шару товщиною приблизно 10 мкм, за ним слідує що утворилася після азотування.

На початковій стадії процесу насичення в поверхневих зонах сталі утворюється твердий розчин хрому в залізі. При досягненні граничної розчинності хрому в γ -твердому розчині утворюються зародки карбіду хрому [40].

3.3 Мікрорентгеноспектральний аналіз поверхні сталі У8А

Мікрорентгеноспектральний аналіз надає можливість проаналізувати яким чином хімічні елементи розподіляються по поверхні об'єкта що досліджується, в даній роботі реалізовано аналіз хімічних елементів сталі У8А після азотохромовання та аналіз сталі У8А після металізації та стійкість до зношування (тобто лунки зносу), інформацію розподілу хімічних елементів по поверхні шліфа який представлений на рис. 3.2, по глибині рис. 3.3. За попередньо встановленими даними відомо, що на поверхні утворюються три фази Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 і Cr_2N . Критичний аналіз наведених результатів (рис. 3.3 і рис. 3.4) свідчить про те, що хром концентрується в межах карбідної та нітридної зони, азот майже не дифундує в карбідну зону і основу, встановлено що нітридний шар є перешкодою для дифузії заліза основи, основна частка вуглецю міститься в карбідах. Залізо знаходиться в матриці під шаром, а також розчинено в карбідній зоні шару.

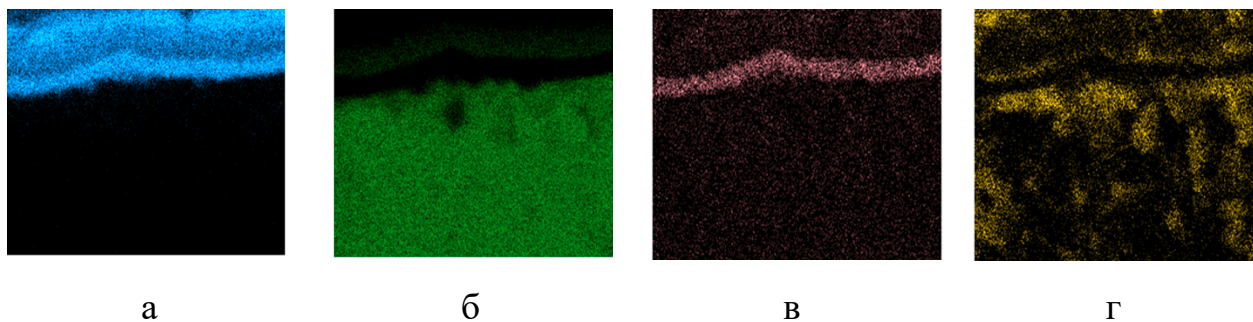


Рисунок 3.3 — Розподіл елементів поверхні мікрошліфа після азотохромування: азотування (температура - 540 °С, час - 20-36 годин) і хромування (температура - 1050 °С, час - 8 годин)

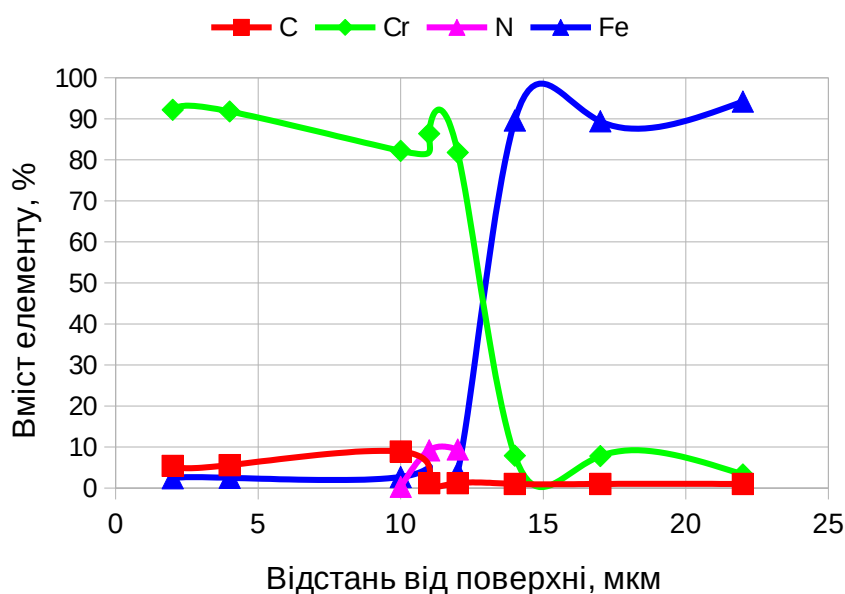


Рисунок 3.4 — Кількісний розподіл елементів сталі У8А по глибині зразка, після азотохромування: азотування (температура - 540 °С, час - 20-36 годин) і хромування (температура - 1050 °С, час - 8 годин)

Зменшення концентрації хрому від зовнішньої межі дифузійного шару до межі розділу з перехідною зоною супроводжується збільшенням концентрації заліза в шарі в зазначеному напрямку. На межі розділу карбідний шар - перехідна зона концентрація хрому різко знижується, зменшуючись по товщині перехідної зони.

3.4 Мікротвердість дифузійних шарів

Одним з параметрів, що корелює з зносостійкістю матеріалів, є їх мікротвердість.

У зв'язку з тим, що товщина дифузійних шарів не перевищувала 20 мкм, рівень мікротвердості оцінювали на «косих» шліфах. При виконанні роботи оцінювали характер зміни мікротвердості в напрямку від поверхні до основного металу. За результатами вимірювань будували залежності мікротвердості від глибини шарів.

Результати вимірювання мікротвердості по глибині зразків і вид відбитків відображені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Мікротвердість фаз покриттів.

Вид обробки:	Склад поверхні	Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа
Азотування	Fe ₂ N	9,0	5,7
	Fe ₂₋₃ N	11,0	5,6
Хромування	Cr ₂₃ C ₆	5,0	17,3
	Cr ₇ C ₃	5,0	16,3
Азотохромування	Cr ₂₃ C ₆	5,0	18,2
	Cr ₇ C ₃	5,0	16,2
	Cr ₂ N	4,0	8,8

Після проведення азотохромування на поверхні розташована фаза Cr₇C₃ з мікротвердістю 18,4 ГПа, нижче знаходиться фаза Cr₂₃C₆ з мікротвердістю 16,3 ГПа. також нижче знаходиться фаза Cr₂N з мікротвердістю 8,9 ГПа. Зменшення

мікротвердості пов'язано з підвищенням вмісту заліза в даній фазі. Мікротвердість перехідної зони становить 2,8 ГПа.

Максимальний рівень мікротвердості дифузійного шару в значній мірі визначає його зносостійкість.

3.5 Результати випробувань на зносостійкість

Аналіз макроструктур лунок з нашивки (рис. 3.5), сформованих в результаті тертя поверхні, дає інформацію про характер зносу.

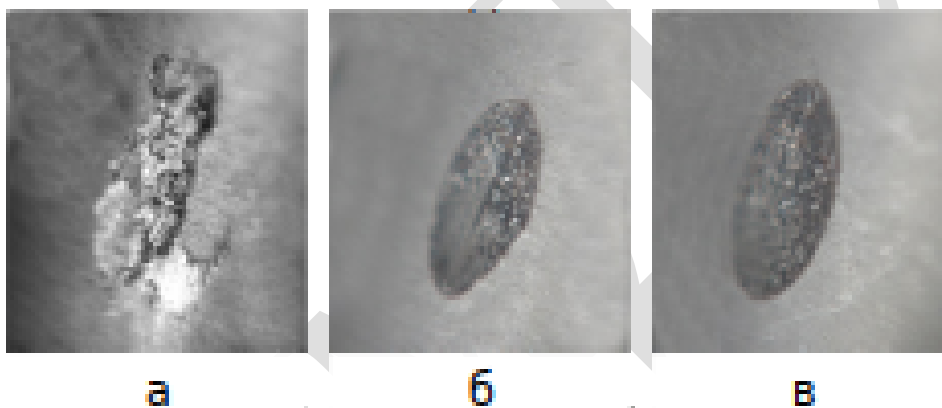


Рисунок. 3.5 - Макроструктура лунок зношування сталі У8А після азотохромування: азотування (температура - 540 °С, час - 20-36 годин) і хромування (температура - 1050 °С, час - 8 годин) при різному часі випробування: а - 120 с; б - 300 с; в - 600 с.

У лунках зношуванні вихідного матеріалу У8А після процесу азотохромування (рис. 3.5), спостерігаються спрямовані лінії мікрорізання. А в якості абразиву використовуються окремі частинки покриття, які відокремлені від основи при випробуванні. Відстань між слідами різання велике. За цією методикою можна вважати, що абразивний знос за даною методикою випробувань не буде визначальним.

У роботі було проведено металографічний і мікрентгеноспектральний аналізи поверхні лунок зносу сталі У8А з різним типом покриття. Так як на поверхні тертя одночасно відбувається велика кількість процесів: потік тепла, потоки речовини, фізико-хімічні процеси взаємодій тіл із середовищем, деформація, структурні і фазові перетворення та ін. [41]. Відповідно до даних [42] процес спрощеного механізму зносу можна описати так. У місцях локального контакту покриття-контртіла виникає напруга зсуву, що перевищує поріг пружної деформації, при цьому температура матеріалу підвищується. На верхівках виступів відбувається розрив матеріалу. У той же час ділянки контактної поверхні залишаються чистими і активними. Потім в процесі руху тут же утворюються і руйнуються численні містки мікрозварного з'єднання двох дотичних один з одним поверхонь [42]. При цьому, механічна енергія руху перетворюється в теплову. Через локальне підвищення температури відбувається формування оксидів елементів покриття і основи. Зношування прискорюється за рахунок абразивного дії безлічі відірваних частинок матеріалу контактної пари. Це призводить до загального посилення тертя, підвищення енергетичних витрат і інтенсифікації зносу [42].

Для проведення першої методики випробування була обрана бічна ділянка поверхні, яка була виміряна відповідно до площі лунки зносу (рисунок 3.3) за формулою 3.1.

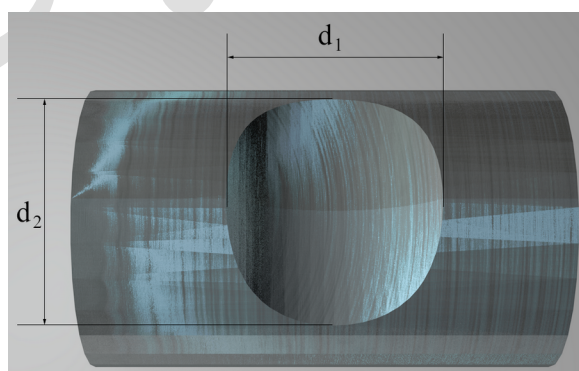


Рисунок 3.5 - Загальний вигляд циліндричного зразка сталі У8А після випробування на знос.

$$S = (d_1 \times d_2) / 4 \quad (3.1)$$

Карбідні дифузійні шари можуть бути використані для зміцнення поверхонь деталей інструментальних сталей, що працюють при помірних швидкостях ковзання і низьких температурах в умовах тертя без мастила, наприклад, пуансонів штампів холодного штампування.

За результатами випробувань були визначені показники зносостійкості дифузійних шарів в умовах тертя ковзання без змащення. Побудовані залежності втрати маси від тривалості випробувань, представлені на рис. 3.6.

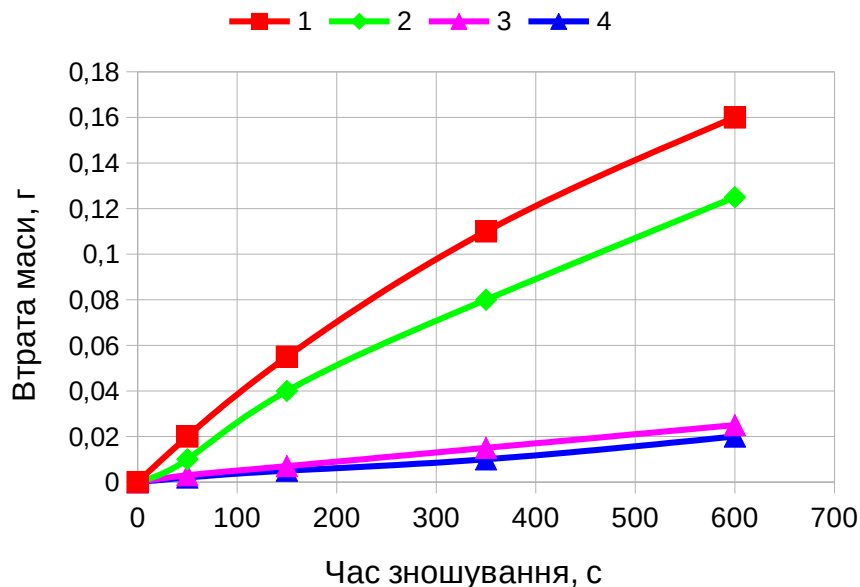


Рисунок 3.6 - залежність втрати маси матеріалу від часу зношування в умовах тертя ковзання без змащення.

1 - без обробки; 2 - азотування; 3 - хромування; 4 - азотохромування.

Діаметр контртіла становить 300 мм, а ширина – 150 мм. швидкість дорівнює 4 м/с, а діюча сила – 40 Н. Товщина і щільність для кожного шару багат шарового покриття представлені раніше в таблиці 1. Перед експериментами зразок і контртіло ретельно очищали. В якості абразиву виступають окремі частинки покриття, відокремлені від основи під час

випробування. Це підтверджується тим фактом, що в зношуються отворах зразків після азотування спостерігаються лінії мікрорізання, спрямовані вздовж тертя. Цей факт характеризує абразивний тип зносу. Абразивом можуть виступати окремі частинки покриття, відокремлені від основи під час випробування. Відстань між слідами різання (слідами мікрорізання, що утворилися після випробування, іншими словами, подряпинами) є значним. Тому, відповідно до використовуваного підходу до випробувань, абразивний характер зносу не є вирішальним. Після випробування на знос сталі з захисними покриттями поверхня контртіла зі сталі відносно гладка. Нерівності на випробувальному шляху однорідні по глибині. Адгезія сталевих поверхонь не була встановлена. Цей факт вказує на інваріантність випробовуваних покриттів до матеріалу контртіла. Інтенсивність зносу визначається втратою маси зразка.

3.6 Мікрорентгеноспектральний аналіз лунки зношування сталі У8А

За результатами дослідження металографічного аналізу лунки зношування сталі У8А після азотохромування було виявлено утворення в результаті тертя трьох зон (рис. 3.9, табл. 3.3).

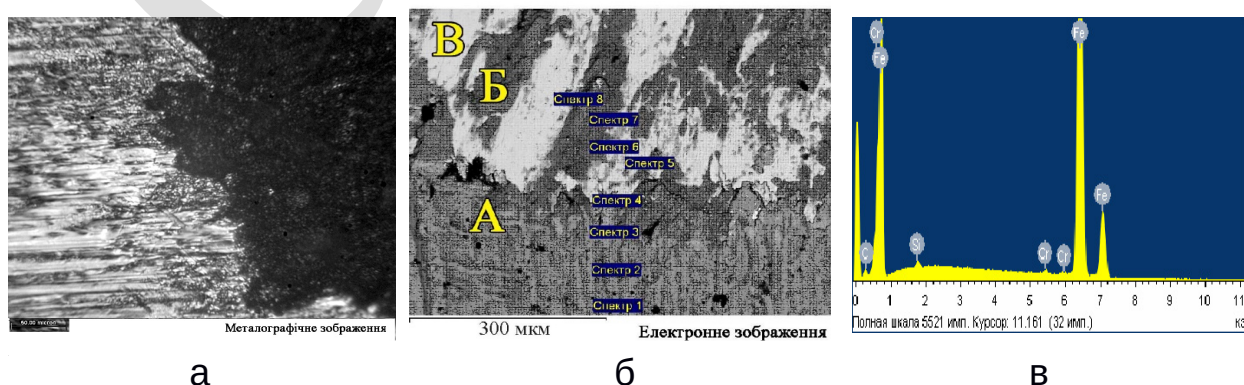


Рисунок 3.9 - Поверхня (а, б) та спектральні криві (в) лунки зносу ($V=0,18$ м/с,

P=30 Н) сталі У8А після азотохромування: азотування (температура - 540 °С, час - 20-36 годин) і хромування (температура - 1050 °С, час - 8 годин)

Зона А представляє собою поверхню сталі У8А, що має в складі з вуглець, азот, хром і залізо. Кисень в цій зоні відсутній. Тільки в точці спектра №3 є невелика кількість кисню. Мікрорентгеноспектральним аналізом виявлено присутність кисню в зоні Б (залізо, вуглець і хром), заліза, вуглецю і хрому. У даній області знаходиться також вольфрам і ванадій – вони були отримані в результаті транспортування в процесі тертя елементів контртел зі сталі 65Г. При цьому зона в є основою для сталі У8А, яка була виготовлена після зносу. Основний елемент цієї ділянки-кисень і залізо.

Таблиця 3.3

Розподіл елементів в лунці зносу сталі У8А після азотохромування: азотування (температура - 540 °С, час - 20-36 годин) і хромування (температура - 1050 °С, час - 8 годин)

Зона	№ спектру	Вміст елементів %, (мас.)								
		C	N	Fe	V	W	O	Cr	Si	Mn
А	1	+	4,5 2	-	-	-	-	4,52	-	
			C	N	Fe	V	W	O	Cr	Si
	2	+	4,7 0	-	-	-	-	95,30	-	-
	3	+	6,7 1	1,02	-	-	2,14	90,13	-	-
Б	6	+	-	56,59	0,30	4,9 1	31,02	7,17	-	-

Продовження таблиці 3.3

Зона	№ спектру	Вміст елементів %, (мас.)								
		+	-							
	7	+	-	57,12	0,38	4,5 0	31,01	6,99	-	-
В	4	+	-	96,14	-	-	-	3,05	0,32	0,49
	5	+	-	98,67	-	-	-	0,98	0,36	-
	8	+	-	99,19	-	-	-	0,47	0,35	-

Однак саме матеріал покриття на основі лунки зносу бере активну участь у формуванні вторинних структур. Крім того, окремі елементи зруйнованого і окисленого покриття під дією контртіла виносять в зону основного сплаву і закріплюються в лунці зносу. Це дозволяє формувати структуру - м'яка основа з твердими включеннями карбідних і оксидної фази, які гальмують зростання лунки зносу і сприяють підвищенню стійкості.

3.7 Використання програмного забезпечення з прогнозування величини зносу

Проведене прогнозування розподілу значень втрати маси для покриття що складається з трьох фаз: $Cr_{23}C_6$ з щільністю 6800 кг/м^3 , Cr_7C_3 з щільністю 6900 кг/м^3 , Cr_2N з щільністю 6500 кг/м^3 [38-39]. Щільність сталі У8А становить 7830 кг/м^3 [28]. Діаметр контртіла становить 0,3 м, ширина 0,15 м. Прогнозування проводилося на глибину 14 мкм. Згідно проведеного розрахунку втрата для

першого шару становить 8,32 мг, після проходження другого 23,67 мг, загальна втрата становить 38.96 мг, результати розрахунку наведено на рис 3.10.

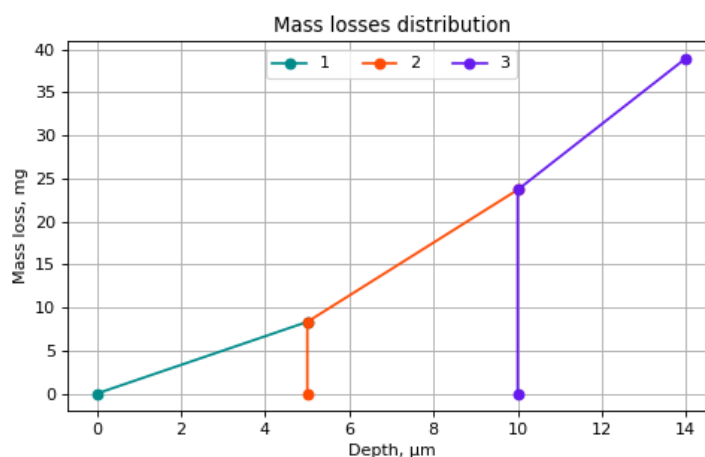


Рисунок 3.10 - Прогнозований розподіл значень втрати маси для тришарового покриття: 1 - Cr_{23}C_6 ; 2 - Cr_7C_3 ; 3 - Cr_2N .

Висновки

В розділі наведені данні дослідження механічних властивостей дифузійних шарів, отриманих при насиченні сталі У8А в порошках ферохрому. Хром дозволяє сформувати в структурі евтектоїдної сталі зносостійкі карбідні шари дифузійним насиченням.

Показано, що утворені карбідні та нітридні фази Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , Cr_2N збільшують зносостійкість дифузійного покриття, а високовуглецева фаза забезпечує високий рівень зносостійкості. Структура сталі після тривалої хіміко-термічної обробки крупнозерниста і вимагає в випадку необхідності наявності дрібнодисперсної структури додаткових операцій для зменшення розміру зерна. Формування фаз на основі карбідів елементів забезпечують високу твердість дифузійних шарів. Застосування феросплавів замість чистих металів і їх оксидів значно знижує дефіцитність сировини і здешевлює процес дифузійного насичення.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Теоретична частина

Який би не був обраний варіант формування ціни на науково-дослідну роботу, будь-яка ціна буде розраховуватися на основі собівартості розробки. Однак навіть у разі, коли ринкова ціна власної комерційної розробки визначена на основі вивчення ринку, питання про калькуляцію собівартості є першочерговим для розрахунку прибутку, визначення рентабельності діяльності [43].

Для визначення собівартості науково-дослідної роботи, до неї входять такі види витрат (статті витрат) [44]:

1. Матеріали.

З даних про кількість використовуваних матеріалів, цін на матеріали, а також кількості задіяних в роботі фахівців можна зробити висновок про те, що витрати за статтею "Матеріали" дають інформацію про кількість використовуваних матеріалів і їх вартості. На розшифровку витрат за цією статтею включені відомості про кількість матеріалів і ціною, за якою вони були куплені. Ці витрати підтверджуються відповідними договорами постачання матеріалів або рахунками-фактурами, актами виконаних робіт, накладними та іншими фінансовими паперами. Якщо матеріал вже був у виконавця, то він оцінюється за ринковою ціною, яка була на момент їх використання. Матеріальна специфікація підтверджує витрату матеріалів.

При використанні скоригованої моделі ціни, витрати на матеріали будуть перераховані відповідно до реальних, документальних підтверджених витрат виконавця. Для того щоб врахувати зростання цін на матеріали, можна внести пункт в договір, згідно з яким вони закупаються замовником науково дослідної роботи і передаються виконавцю для виконання роботи

(давальницький матеріал). Це дозволяє замовнику контролювати ціну і рівень якості закупаюваного матеріалу. Така система використовується і в разі, коли для виконання науково дослідної роботи потрібен рідкісний, специфічний матеріал, зв'язку зі своїм виробником якого мають замовник, але не має виконавця.

2. Спеціальне обладнання для наукових (експериментальних) робіт.

Спеціальне обладнання та вимірювальні прилади, призначені для виконання даної науково-дослідної діяльності, купуються або створюються на замовлення. Після завершення робіт, які і були проведені за допомогою спеціального обладнання, воно може бути:

- Отримано замовником;

- Залишається на відповідальному зберіганні у виконавця, який повинен виконати інші роботи, що фінансуються цим же замовником (в цьому випадку воно вже не входить до складу витрат за наступними замовленнями).

- За згодою виконавця, переданого йому за залишковою вартістю.

3. Робота машин і механізмів.

Витрати розраховуються виходячи з кількості необхідних годин часу роботи машин і механізмів і вартості однієї години машинного часу. При цьому часто такі витрати не відносять до окремої статті витрат, а списують до складу інших статей.

- Оплата роботи обслуговуючого персоналу (в тому числі і зарплата), додаткові виплати з фонду оплати праці – у складі відповідних статей кошторису.

- До складу накладних витрат входять витрати на утримання, експлуатацію та поточний ремонт машинного парку, його амортизація, енергопостачання та придбання паливно-мастильних матеріалів.

4. Оплата праці.

На основі трудомісткості робіт проводиться розрахунок витрат на оплату праці виробничих робітників і інженерно-технічний персонал (ІТП). При цьому

коли відомі і не оскаржуються сторонами точні необхідну кількість і кваліфікацію всіх працівників, витрати на оплату праці можуть бути встановлені прямим рахунком виходячи з кількості задіяних працівників, їх тарифних розрядів і премій, кількості нормо-годин одного працівника.

5. Додаткова заробітна плата.

До категорії «додаткова заробітна плата» входять виплати співробітникам підприємства, не пов'язані з безпосереднім виконанням трудових обов'язків (заробітна плата); додаткові виплати працівникам, які не досягли 18-річного віку; оплата додаткових відпусток працівникам шкідливих підприємств; доплати працівникам, які не досягають 18 років; оплата додаткових відпусток працівникам, які не досягли 18 років. Фонд оплати праці з даної науково-дослідної роботи та норматив додаткової заробітної плати встановлюються по підприємству в цілому на підставі відомостей про її розміри за минулий період.

6. Обов'язкові відрахування з фонду оплати праці.

Страхові внески до фондів державного страхування встановлюються за ставкою у відсотках до фонду оплати праці як за основною, так або за додатковою заробітною платою.

7. Витрати на відрядження.

З урахуванням того, що витрати на відрядження складаються з оплати відрядженим співробітникам добових, проїзду до місця відрядження і повернення, а також проживання, то вони оплачуються. Кошторис Договірної ціни включає в себе розшифровку витрат на відрядження, де вказуються кількість відряджень, місце призначення, число співробітників, відряджених в кожне місце призначення.

8. Накладні витрати.

Витрати, що не відносяться до виконання конкретної науково-дослідної діяльності, але забезпечують функціонування підприємства, відносяться до накладних витрат. До складу накладних витрат можуть входити такі статті, як:

- Витрати на виробництво і збут продукції.

- Організаційні витрати.
- Амортизаційні відрахування спрямовані на повне відновлення основних засобів.

Від фонду оплати праці з даної наукової роботи, накладні витрати розраховуються у відсотках. При цьому розмір процентного нормативу визначається виходячи з інформації минулого періоду як частка від ділення загальної кількості накладених накладних витрат за період на загальну суму фонду оплати праці підприємства. Нормативи накладних витрат встановлюються відповідно до єдиного значення для підприємства-виконавця на конкретний період і застосовуються для всіх науково-дослідних робіт [45-46].

Отже, собівартість науково-дослідної діяльності складається з перерахованих видів витрат. А також статті витрат:

- Матеріали.
- Спецобладнання,
- Робота машин і механізми,
- Роботи, які виконують сторонні організації та підприємства.
- Якщо робота не передбачає відряджень, то витрати на них не включаються до кошторису.

У тому випадку, якщо договірна ціна складається як фіксована, за угодою сторін можливе введення додаткової статті витрати, "непередбачені витрати", формується як відсоток від собівартості науково дослідної роботи [47].

4.2 Практична частина

Загальна формула для розрахунку витрат по проведенню науково-дослідної роботи:

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

У таблиці 4.1 наведені витрати на виконання науково-дослідної роботи.

У витрати на основні матеріали входять закупівельні матеріали, які використовуються для виготовлення основних виробів і досліджуваних матеріалів [48]. Ціна за 1 кг круга Ø110 мм сталі У8А становить:

$$V_{\text{матер.}} = 70,00 \text{ грн.}$$

Витрати на додаткові матеріали включають в себе витрати на кислоту для травлення зразка, матеріал для проведення випробувань та інші матеріали, що застосовуються безпосередньо при проведенні роботи.

Матеріали які потрібні для процесів азотування та дифузійного хромування:

- Аміак NH_3 , необхідна вага 8,75 кг, вартість якого становить 560,00 грн;
- Ферохром порошковий (ФХ-025), необхідна вага 500 г, вартість якого становить 127,00 грн;
- Оксид алюмінію (Al_2O_3) необхідна вага 400 г, вартість якого становить 260,00 грн;
- Хлористий амоній (NH_4Cl), необхідна вага 33,3 г, вартість якого становить 5,06 грн;
- Плавикова кислота для травлення зразків 200 мг - становить 57,00 грн.
- Контейнер для проведення ХТО - вартість становить 1000,00 грн.
- Сірчана кислота для травлення зразків 200 мг, вартість становить 61,00 грн.

Таблиця 4.1

Кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи.

Витрати	Сума, грн.	Позначення
Основні матеріали:		$V_{\text{матер}}$
Круг Ø110 мм сталі У8А 1 кг	70,00	

Продовження таблиці 4.1

Витрати	Сума, грн.	Позначення
Допоміжні матеріали:		$V_{\text{доп.матер}}$
Аміак NH_3	560,00	
Ферохром порошковий (ФХ-025), (500 г.)	127,00	
Оксид алюмінію (Al_2O_3), (400 г.)	260,00	
Хлористий амоній (NH_4Cl), (33,3 г.)	5,06	
Плавинова кислота (200 мг.)	57,00	
Контейнер	1000,00	
Сірчана кислота (200 мг.)	61,00	
Електроенергія	662,56	$V_{\text{електр}}$
Спеціальне устаткування		$A_{\text{обл}}$
Коефіцієнт амортизації для обладнання (шахтна і муфельна піч)	561,33	
Металографічні дослідження структури (абразивні круги, наждачний папір, полірувальна тканина, реактиви і т.д.)	1 659,00	$V_{\text{робіт}}$
Випробування на зносостійкість	960,00	
Випробування мікротвердості	1 428,00	
Мікрорентгеноспектральний аналіз	1 072,00	
Заробітна плата працівника	6 000,00	$V_{\text{прац}}$
Всього:	13 820,39	$V_{\text{нд}}$

Електроенергія.

Вартість 1 кВт = 1,68 грн. Потужність електричної муфельної печі становить 11,8 кВт., електричної шахтної печі становить 15 кВт.

Вартість роботи шахтної печі грн/год. $11,8 \times 1,68 = 19,82$ грн.

Вартість роботи муфельної печі грн/год. $15 \times 1,68 = 25,2$ грн.

Загальна вартість електроенергії:

$V_{\text{енерг}} = 25,2 \times 20 + 19,82 \times 8 = 662,56$ грн.

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

Коефіцієнт амортизації для обладнання.

Оцінка технологічного обладнання 77000 грн. (шахтна і муфельна піч), період експлуатації становить 96 місяців (8 років).

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

Сума = $38000 \times 12,5\% : 100\% = 9625$ грн. на рік.

Амортизаційні відрахування кожного місяця = $9625 : 12 = 802,08$ грн.

Амортизаційні відрахування на один день = $802,08 : 30 = 26,73$, а для виконання науково-дослідної роботи в 21 день:

$A_{\text{обл.}} = 13,19 \times 21 = 561,33$ грн.

Металографічний аналіз 1 шт. мікрошліфа становить 237,00 грн :

- абразивний круг становить 65,00 грн;

- шліфувальний папір 10 шт., ціна за 1 шт. 10 грн, $10 \times 10 = 100,00$ грн;

- абразивна паста: паста гої становить 63,00 грн;

- електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 10,00 грн.

Загальна сума, витрачена на металографічні дослідження 7 шт. Становить $7 \times 237 = 1659,00$ грн.

Випробування на зносостійкість.

- контртіло - 130,00 грн;

- електроенергія використана при виготовленні зразків та випробування на зносостійкість 30,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на випробування на зносостійкість становить $6 \times (130 + 30) = 960,00$ грн.

Випробування мікротвердості.

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

Ціни на матеріали для проведення металографічного аналізу: абразивний круг - 65,00 грн; шліфувальний папір 10 шт., ціна за 1 шт. 10,00 грн, $10 \times 10 = 100,00$ грн; абразивна паста: паста гої - 63,00 грн; електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 10,00 грн. Виготовлення одного мікрошліфа = 238,00 грн.

Загальна сума дослідження мікротвердості $6 \times 238 = 1428,00$ грн.

Мікрорентгеноспектральний аналіз.

Матеріали необхідні виготовлення мікрошліфа: абразивний круг; шліфувальний папір; абразивна паста; електроенергія використана при роботі з обладнанням.

Ціни на матеріали для мікрорентгеноспектрального аналізу: абразивний круг - 65,00 грн; шліфувальний папір 10 шт., ціна за 1 шт. 10,00 грн, $10 \times 10 = 100,00$ грн; абразивна паста: паста гої - 63,00 грн; електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 10,00 грн. Виготовлення одного мікрошліфа = 238,00 грн.

- електроенергія використана при роботі з мікроскопом становить 30,00 грн.

Загальна сума, яка витрачена на мікрорентгеноспектральний аналіз становить $4 \times (238 + 30) = 1072,00$ грн.

Загальна вартість:

$V_{\text{доп.матер.}} = 560,00 + 127 + 260 + 5,06 + 57 + 1000 + 61 = 2070,06$ грн.

$V_{\text{робіт}} = 1659 + 960 + 1428 + 1072 = 5119,00$ грн.

Заробітна плата працівника за 21 робочий день випробувань становить: $V_{\text{прац.}} = 6000$ грн. По пункту 5 ст. 38 Бюджетного кодексу України розмір мінімальної заробітної плати визначається в законі про Державний бюджет на відповідний рік.

Загальний підсумок розрахунку витрат на науково-дослідну роботу становить:

$V_{\text{нд}} = V_{\text{матер.}} + V_{\text{доп.матер.}} + V_{\text{електр.}} + A_{\text{обл.}} + V_{\text{робіт.}} + V_{\text{прац.}} = 70 + 1510,06 + 662,56 + 561,33 + 5119 + 6000 = 13820,39$ (тринадцять тисяч вісімсот двадцять гривень тридцять дев'ять копійок).

Висновки

За останні роки попит на науково-технічну продукцію зріс, так як вона безпосередньо пов'язана з удосконаленням і розвитком існуючих виробництв з метою підвищення їх технічного рівня або економічної ефективності, а також з налагодженням виробництва нових конкурентоспроможних виробів.

При виконанні розрахунків витрат на науково-дослідну роботу, були враховані всі основні матеріали; допоміжні матеріали; витрати на електроенергію; спеціальне обладнання; металографічні дослідження і випробування, а також на заробітну плату для працівника.

Відповідно до розрахунків, що являються актуальними на момент написання кваліфікаційної роботи магістра були встановлені цінність матеріалів використаних в дослідженні (основних та допоміжних) і інших витратах та проведено розрахунок загальної кількості витрат в ході проведення науково-дослідної роботи, що в підсумку становлять 14562,23 (чотирнадцять тисяч п'ятсот шістдесят дві гривні двадцять три копійки).

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при термічній обробці

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

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами є: пил дезінтеграції і конденсації, пари і гази, надмірне тепло, підвищений рівень шуму і вібрацій, електромагнітні випромінювання, рухомі деталі обладнання, рухомі машини і механізми; ультразвук [49].

При цьому до фізичних факторів відносять: підвищені або знижені вологості і рухливості повітря, підвищена температура повітря робочої області, підвищена загазованість і забрудненість повітря робочої зони, небезпечний рівень напруги електромереж обладнання, підвищений рівень електромагнітного поля, шуму і вібрації на робочому місці, рухомі машини (машини) і механізми.

До хімічних факторів відносяться загально токсичні, канцерогенні, дратівливі. Психофізіологічні фактори включають фізичні і нервово-психологічні перевантаження.

Перші чотири фактори впливають на формування метеорологічних умов в робочому місці в цілому і в цеху. У робочій зоні повинні бути розташовані робочі місця, які знаходяться на висоті не менше двох метрів над рівнем підлоги або майданчика. Якщо виробництво відбувається в різних місцях робочої зони, то постійним робочим місцем є вся робоча зона. У великій мірі ступінь залежить від типу застосовуваних технологічних процесів і видів обладнання складу і температури повітря в цеху. Крім цього, важливо

правильно організувати загальну і місцеву вентиляцію цехів і забезпечити їх якісну роботу, а також аерацію [49].

У термічних цехах основним видом обладнання є печі для нагріву і пристрої (установки індукційного нагріву, газополум'яних установок), тому температурні умови в цеху і на робочих місцях мають залежність від його типу, особливостей конструкції і дотримання умов безпечної експлуатації. Обігрів повітря в цеху відбувається за рахунок роботи конвекції і випромінювання (радіації) При нагріванні і охолодженні корпусу обладнання, а також деталей з температурою нижче 600 °С тепло поширюється через конвекцію. Через відкриття вантажно-розвантажувальних вікон, від дзеркал печей-ванн, від продукції, вивантаженої з печей з температурою понад 700 °С, тепло поширюється в цех випромінюванням. Енергія випромінювання пропорційна четвертому ступеня температурного режиму, тому при підвищенні температури випромінюючої речовини нагрів його випромінюванням різко збільшується [50].

Тепловий потік, який передається випромінюванням через відкриті вікна печей і від дзеркала печей-ванн (або від дзеркальної поверхні), направляєється в сторону. Тому інтенсивність нагріву залежить від того, в якому напрямку до джерела випромінювання, також на якій дистанції від нього знаходиться працюючий.

Від печі, яка нагрівається до температури 900°С, через відкрите вікно на відстані 1 метр по осі потоку передається тепло, яке становить 1-8 кДж/м²с. відповідне [49] правило свідчить, що інтенсивність теплового випромінювання на робочих місцях повинна бути не більше 0,35 кДж/ м²с.

На збільшення або зменшення температурного режиму в цеху можуть впливати різні фактори, такі як несправність і негерметичність печей, порушення правил експлуатації обладнання (наприклад, при використанні печей-ванн з відкритими дверцятами).

Втрати тепла які відбуваються через стінки і склепіння печі можна істотно зменшити, застосовуючи теплоізоляційний шар достатньої товщини. Однак при цьому потрібно враховувати, що теплоізоляційні матеріали можуть витримувати температуру обмежено, тільки до певної межі, що вимагає збільшення товщини внутрішньої вогнетривкої кладки (футерування). Через це 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 [50], температура зовнішньої поверхні стінки печі не повинна бути більше ніж 45 °С.

Крім цього тепло, яке походить від стінок і склепінь печі може бути значно зменшено, використовуючи теплоізоляційний шар достатньої товщини. Але в той же час необхідно враховувати, що теплоізоляційні матеріали можуть витримати температуру необмежено, тільки до певної межі, що зажадає збільшення товщини внутрішньої вогнетривкої кладки (футеровки). З цієї причини збільшується розмір печі, що призводить до збільшення її габаритних розмірів. Крім того, збільшується втрата тепла на акумуляцію кладки. В якості вихідних даних при конструюванні, а також тепловому розрахунку печі приймають допустиму для даної печі температуру зовнішньої поверхні стінки печі (кожуха), робочу температуру внутрішньої стінки [50]. Згідно з яким температура внутрішньої поверхні стінки печі не повинна перевищувати 45 °С. Повинна забезпечуватись герметичність печей, що працюють з відкритими кришками [50].

Значний вплив на температуру цеху надають оброблювані вироби, які після нагрівання під печі вивантажуються для проведення подальших операційних дій, наприклад гартування, охолодження до внутрішньої цехової температури при нормалізації, перед відпуском і при інших операціях. Всі нагріті після термічної обробки деталі слід розміщувати в місцях, обладнаних

ефективною системою витяжної вентиляції або в спеціально обладнаних приміщеннях [51].

Через те що тепло від нагрітих деталей передається безпосередньо до робочої атмосфери, процес їх термічної обробки може відбуватися за допомогою нагріву методами СВЧ (струмами високої частоти).

У цеху і безпосередньо на робочих місцях на самопочуття, працездатність робітників великий вплив надає вологість і швидкість руху повітря під дією природного та штучного вентилявання. Для проєктованих промислових підприємств і санітарно-гігієнічними нормами [51] передбачені оптимальні і допустимі нормативи температури, вологості і швидкості руху повітря у виробничих приміщеннях з різними рівнями надлишку явної теплоти, наведені рекомендовані швидкості руху повітря в залежності від категорії роботи, інтенсивності теплових потоків. [51].

Підготовка до виконання робіт і деталей, які будуть піддаватися термічній обробці. Покриття захисними складами, травлення, знежирення та інші. При термічній обробці із застосуванням речовин, які можуть володіти отруйними, пожежо- і вибухонебезпечними властивостями: бензину, масел, розплавів сольових сполук, рідких середовищ, використовуваних при процесах гарту і відпуску, повинна бути виключена можливість впливу зазначених речовин на працюючих.

В процесі роботи з рідкими матеріалами, які використовуються для гарту і відпуску, необхідно дотримання вимог пожежної безпеки.

Пило - і газовиділення. При роботі в цеху, де є термічна дільниця, обов'язково відбувається виділення пилу і газів. Атмосферне повітря зазвичай містить близько 78% азоту, 21% кисень, 0,9% інертного газу, 0,08% вуглекислого газу і невелика кількість інших домішок. Такий склад атмосфери забезпечує нормальну життєдіяльність людського організму. Зміни складу атмосфери понад допустимі межі порушують роботу органів дихання. В атмосфері підвищується концентрація вуглекислого газу, що викликає сильну

реакцію організму: дихання стає частіше, подразнення слизових оболонок посилюється, з'являється кашель, виникає наркотичну і токсичну дію [52].

У місцях, які обладнані витяжною вентиляцією або пристроями, слід розміщувати гарячі деталі і вироби, що пройшли процес термічної обробки.

Місця з можливим виділенням в повітряну атмосферу виробничих приміщень, які мають речовини, що мають токсичні, пожежо - і вибухонебезпечні властивості, і пилу повинні бути оснащені механічною витяжною вентиляцією у вибухобезпечному виконанні [52].

Пилове забруднення атмосфери цеху частинками твердих матеріалів, в тому числі і пилом, присутніми в атмосфері у вигляді аерозолів, відбувається різними шляхами: внесенням частинок пилового матеріалу разом з повітрям, надходить в цех за допомогою аерації, при використанні в цеху сипучих матеріалів, а також матеріалом, який легко дробиться. Наприклад, вогнетривкі і теплоізоляційні матеріали, засипки для хіміко-термічної обробки. Забруднення на поверхні деталей, що надходять в цехи обробки, застосуванням різних технологічних з'єднань і матеріалів: карбюратори, солі, пісок. Деякі з цих речовин, присутніх в повітрі у вигляді аерозолів і є шкідливими, вони також можуть присутні в повітрі. У виробничих умовах шуми сприймаються людиною через повітряне середовище у вигляді звуків різної сили і тону, висоти. Відповідно до вимог, допустимі рівні шуму на робочих місцях і загальних вимоги щодо захисту від шуму встановлені відповідними нормами [53].

За частотою шуму шуми діляться [53]:

- Низькочастотні до 300 Гц - шуми тихохідних агрегатів ударної дії і шуми, що проникають через ізоляційні перешкоди: стіни, перегородки, перекриття, кожухи, допустимий рівень 90-100 дБ.

- Середньої частоти 300-1000 Гц – шумів більшості механізмів і агрегатів не ударно-діючого, допустимий рівень 85-90дБ.

- Понад 1000 Гц – високочастотні звуки (дзвінки, шиплячі і свистячі), характерні насамперед для обладнання швидкісної роботи.

Шум на робочих місцях являє собою рівень звукового тиску в октавних смугах з середньо геометричними частотами. 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц [53].

Основний спосіб боротьби з шумом і вібраціями – це усунення джерела їх виникнення. Якщо це неможливо в силу специфіки застосованих агрегатів або технології, зниження рівня звуку досягається шляхом використання методів звукопоглинання типу матеріалів, які обкладаються звукопоглинаючими кожухами [54].

Під час розробки технологічних процесів термічної та хіміко-термічної обробки заготовок, необхідно передбачити оптимальні режими механічної витяжки у вибухозахищеному виконанні. Технологічні процеси термічної і хіміко-термічної обробки деталей повинні бути попередньо продумані з урахуванням оптимальних режимів роботи обладнання, що забезпечують безперервність технологічних процесів; раціональний темп роботи співробітників, що виконують окремі технологічні операції; виключення можливості виникнення аварійних ситуацій.

Газопроводи та їх елементи на термічних дільницях цеху повинні бути виконані згідно з вимогами діючих будівельних норм і правил, затверджених в установленому порядку.

5.2 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту працівників

Для захисту працівників від впливу на них небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючих технологіях і процесах, умов роботи, необхідне застосування засобів індивідуального захисту.

Спеціальне взуття, спеціальний одяг, окуляри, спеціальні респіратори – це основні засоби індивідуального захисту при термічній обробці. Щоб захистити шкіний покрив від різних захворювань, для профілактики використовують

захисні дерматологічні засоби: пасти або мазі, спеціальні очищаючі та миючі засоби.

Захисні окуляри, маски, захисні щитки для захисту очей від механічного або хімічного ураження бувають відкритого або закритого типу. Для захисту очей від механічних пошкоджень використовують окуляри закритого типу (С-2, С-3, ОЗК). Окуляри закритого типу (С-1, С-12, С-33) використовуються для захисту очей при роботі з пневмо-інструментом 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 частинок, що летять з усіх сторін. При індивідуальному захисті органів слуху від шуму при виконанні робіт на машинно-котельних відділеннях використовують Вкладиші, навушники і шолом. Найкращі засоби по захисту вух і органів слуху від шуму – це навушники типу ВЦНІОТ-7, 2М, ЧМ, А1,7І, ПШ. Вони зменшують рівень звукового тиску при частоті в діапазоні від 125 до 8000 гц на 4-45 дБ. У навушниках є вбудовані пружини, які мають дугоподібну форму, шолом або еластичну стрічку. Їх вимоги визначені стандартом, і в ДСН 3.3.6.031-99. «Державними санітарними нормами вібрації робочих місць» [55].

При захисті дихальних шляхів від шкідливих парів, пилу і газів використовують фільтруючий і ізолюючий апарати зазначено в НПАОП 0.00-4.26-96. "Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту" [56] та НПАОП 0.00-3.03-81. "Типові галузеві норми безплатної видачі спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту робітникам і службовцям наскрізних професій та посад усіх галузей народного господарства і окремих виробництв" [57]. Відповідно до [56] в залежності від призначення респіратори ділять на протипилові, протигазові і універсальні.

Якщо в умовах виробництва неможливо повністю усунути всі шкідливі домішки до гранично допустимого рівня, застосовуються індивідуальні засоби захисту органів дихання. Вони включають в себе: фільтруючі протигази, маски,

ізолюючі протигази і респіратори. У фільтрах протигазів і респіраторів відбувається очищення повітря перед тим, як воно надійде до органів дихання [58].

При цьому, існують шлангові і кисневі апарати. Шланговий апарат складається з гумового шланга і гумової маски, які повинні бути віддалені від джерела чистого повітря. Ізолювавши органи дихання людини від забрудненої атмосфери, кисневий апарат повністю ізолює їх від навколишнього повітря.

Засоби індивідуального захисту, що потрібно застосовувати працівниками в процесі термообробки сплавів, повинні відповідати вимогам відповідних стандартів безпеки праці по конкретних групах засобів захисту. Засоби індивідуального захисту повинні мати сертифікат виробників. Загальні вимоги до захисту працівників наведені в [59].

Необхідно регулярно проводити інструктаж працівників, які обслуговуватимуть ділянки, за правилами застосування засобів індивідуального захисту та проведення догляду за ними, це входить в обов'язки керівництва. Також керівники повинні забезпечувати зберігання, процеси прання, сушіння, дезинфекції, дегазації та ремонту спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту.

При проведенні робіт хіміко-термічної обробки на ділянках з використанням отруйних речовин слід вжити заходів, що унеможлиблює винос співробітниками спецодягу, спецвзуття або інших засобів індивідуального захисту за межі цехів і вихід співробітників цих ділянок в спецодязі.

Спеціальний одяг і взуття для працівників цехів, які знаходяться на території ділянок хіміко-термічної обробки, де застосовуються отруйні речовини повинні зберігатися окремо від засобів індивідуального захисту працівників інших ділянок термічних цехів [56].

5.3 Техніка безпеки при роботі з печами

При проведенні технічного обслуговування електропечей необхідно дотримуватися таких вимог техніки безпеки: всі струмоведучі частини електропечей повинні бути ізольовані або огорожені; щити управління електропечами повинні бути закритого типу. У спеціальних ізольованих приміщеннях можна встановити панелі відкритого монтажу, але тільки в спеціально відведених місцях з вікнами для спостереження за приладами. На щитках і пультах управління електропечами повинна бути світлова сигналізація про початок роботи нагрівальних елементів і про роботу блокувальних пристроїв, а також про включення режиму захисту від перевантаження. В електропечі з ручним завантаженням і вивантаженням деталей повинні бути встановлені блокувальні пристрої для автоматичного зняття напруги з нагрівальних приладів при відкритті дверцят печі. Всі струмоведучі частини електропечі повинні бути ізольовані або огорожені. Огороджувальні пристрої та інші металеві струмопровідні частини повинні мати заземлення. Електропечі з примусовою циркуляцією робочого середовища, в якій не виключається викид гарячого газу через відкритий отвір, повинні бути оснащені блокувальним пристроєм, що відключає живлення електродвигунів пічних вентиляторів перед відкриттям дверцят або кришки печі. У печах з механізованим підйомом і опусканням дверцят або робочого вікна, кришки повинні бути забезпечені можливістю зупинки дверцят в будь-якому проміжному стані, автоматична зупинка механізму підйому і спуску в кінцевих положеннях і виключалася можливість падіння дверцят при відключенні механізмів. Прилади, які встановлені в печі повинні бути оснащені автоматичним регулюванням температури. При підвищенні температури вище встановленої повинні включитися світлові і звукові сигнали. Приміщення над склепінням електричної печі повинні бути теплоізольованими. Завантаження, розвантаження, перевірка, операції очищення, ремонту, електропечей повинні проводитися при повному

знятому напрузі, щоб виключити коротке замикання і ураження електричним струмом. А також в групі електропечей повинні бути встановлені аварійний вимикач з відповідним написом і розміщений він якомога ближче до печей. Аварійний вимикач повинен бути завжди доступний [60-61].

У разі виникнення аварійних ситуацій в ході виконання технологічного процесу (перегрів робочого середовища, виявлення в повітрі шкідливих речовин, гранично допустимої концентрації яких не повинно перевищувати норм, припинення подачі повітря до газоходу газового пальника термічної печі та інші) роботу необхідно негайно припинити і застосувати заходи по усуненню аварійної ситуації. Не варто продовжувати вести технологічний процес до тих пір, поки не буде з'ясована причина, яка викликала аварійну ситуацію і вжиті заходи щодо її усунення [62].

5.4 Заходи з охорони навколишнього середовища

В процесі проведення термічної і хіміко-термінальної обробки необхідно забезпечити заходи захисту працівників від можливого впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів [47]. На рівні фізичних небезпек і шкідливих виробничих факторів концентрацій речовин зі шкідливими властивостями і рівнів фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинно перевищувати значень, встановлених санітарними нормами для даного виду продукції.

У термічних цехах при нагріванні в контрольованих атмосферах, сушки і деяких інших процесах в атмосферу виділяються отруйні гази. Для зменшення забруднення атмосфери проводяться наступні заходи: впровадження системи газоуловлення і газоочистки, Заміна технологічних процесів з великим газовиділенням на більш прогресивні та вдосконалені [63].

Забруднені виробничі стічні води, в які в термічних цехах потрапляють розчини кислот, лугів і солей, що застосовуються для обробки деталей, а також

охолодження обладнання, після використання для гарту і очищення виробів.

Для знешкодження стічних вод використовуються наступні заходи: стічні води перед скиданням проходять різні методи очищення, що в результаті забезпечує концентрацію шкідливих речовин у воді не нижче гранично допустимої; після обробки, відстояння і фільтрації стічні води скидаються в побутову каналізацію [64].

Електротермічне обладнання - це великий споживач води, що витрачається на охолоджуючі елементи печей і обладнання. Крім цього, до неї пред'являються високі вимоги: для зниження забору води з джерел і забезпечення її високої якості необхідно застосовувати системи зворотного водопостачання [65].

Вся електроенергія, яка була спожита печами, перетворюється в тепло і розсіюється по біосфері у вигляді втрат або при охолодженні нагрітих деталей, що призводить до виділення його в біосферу. Чим вище потужність печі, тим більше вплив цього фактора.

Щоб зменшити загальний обсяг тепловтрат, необхідно збільшити теплоізоляцію і скоротити всі види втрат, використовуючи тепло газів, що відходять і охолоджуючу воду для технологічних або комунальних цілей.

Висновки

В розділі розглянуті питання охорони праці і техніки безпеки при виконанні термічної та хіміко-термінальної обробки, а саме: небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що мають місце при проведенні операцій обробки; вимоги до засобів індивідуального захисту співробітників; правила техніки безпеки при роботі з піччю; заходи з охорони навколишнього середовища. На фізичних, хімічних і психофізіологічних факторах базуються небезпечні і

шкідливі виробничі фактори, які виникають при операціях термічної або хімічної обробки.

Фізичні фактори включають підвищення температури повітря робочої зони, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони. Також до них відноситься підвищений рівень напруги в електричних ланцюгах обладнання, підвищені або знижені вологість (в тому числі і рухливість) повітря, небезпечний рівень напруги в електричних мережах обладнання, підвищений рівень електромагнітного поля, шуму і вібрації на робочому місці, рухомі машини і механізми. До хімічних факторів відносяться загально токсичні, дратівливі, канцерогенні. Психофізіологічні фактори включають фізичні та нервово-психологічні перевантаження.

Для зменшення забруднення атмосфери проводяться наступні заходи: використання системи газоуловлення і газоочистки, зміна технологічних процесів з менш продуктивних на вдосконалені. Для знешкодження стічних вод використовуються різні методи очищення, що забезпечують концентрацію шкідливих речовин у воді не вище гранично допустимого. З метою зменшення забору води з джерел і підвищення якості її очищення необхідно застосовувати системи зворотного водопостачання. Зменшити непотрібне розсіювання тепла можна, поліпшивши теплоізоляцію і скоротивши всі види втрат.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено дослідження впливу процесу дифузійного хромування азотованої сталі У8А на структуру, твердість та зносостійкість.

В результаті аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що дифузійне хромування сталей дозволяє підвищити їх довговічність і надійність. Такий метод обробки зручний для широкого застосування тим, що виключає необхідність використання додаткового дорогого обладнання і може застосовуватися на будь-якому підприємстві, що володіє стандартним термічним обладнанням.

Азотохромування сталі У8А реалізовували в два послідовні етапи: азотування (температура - 540°C, час - 20-36 годин, ступінь дисоціації аміаку 25-35%) і хромування (температура — 1050 °C, час - 8 годин, суміш: оксид алюмінію 15-25%; хлористий амоній 1-4%; ферохром решта).

Встановлено, що для термодинамічних систем N-C-Fe-Cr основними конденсованими фазами є карбіди Cr_3C_2 та Fe_3C , нітриди хрому CrN та Cr_2N .

Металографічним аналізом встановлено утворення захисного тришарового покриття: Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Cr_2N . Під захисним покриттям знаходиться перехідна зона. Поступове зменшення мікротвердості від основи до покриття має позитивний ефект. Максимальна мікротвердість характерна для шару Cr_{23}C_6 після азотохромування - 18,4 ГПа. Максимальна товщина шару — Cr_{23}C_6 після хромування — 9 мкм.

В результаті випробувань сталі У8А після азотохромування на зносостійкість проаналізовані макроструктура та хімічний склад лунок зношування.

Розроблено сучасне програмне забезпечення для прогнозування величини зносу. Проведене прогнозування розподілу значень втрати маси для покриття що складається з трьох шарів: Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Cr_2N . Згідно проведеного розрахунку загальна втрата маси при зношуванні до основи - 38.96 мг.

Комплексна обробка сталі У8А призводить до збільшення зносостійкості в 1,25 раз в порівнянні з хромуванням, в 6,25 рази з азотуванням та в 8 разів зі сталлю У8А без обробки.

Економічні розрахунки загальної кількості витрат в ході проведення науково-дослідної роботи становить 13820,39 (тринадцять тисяч вісімсот двадцять гривень тридцять дев'ять копійок).

Розглянуті питання охорони праці і техніки безпеки при виконанні термічної та хіміко-термічної обробки, а саме: небезпечні і шкідливі виробничі фактори, вимоги до засобів індивідуального захисту співробітників; правила техніки безпеки при роботі з піччю; заходи з охорони навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zeng D., Yang S., Xiang Z. D. Formation of hard surface layer on austenitic stainless steels via simultaneous chromising and nitriding by pack cementation process. *Applied Surface Science*. 2012.
2. Heat Treatment - Conventional and Novel Applications / ed. by F. Czerwinski. InTech, 2012.
3. Сабитов В. Х. Медицинские инструменты : Учебное пособие. Москва : Медицина, 1985. 175 с.
4. Diffusion chromizing of ferrous alloys / G. H. Meier et al. *Surface and Coatings Technology*. 1989. Vol. 39-40. P. 53–64.
5. Hakami F., Sohi M. H., Ghani J. R. Duplex surface treatment of AISI 1045 steel via plasma nitriding of chromized layer. *Thin Solid Films*. 2011. Vol. 519, no. 20. P. 6792–6796
6. Duplex surface treatment of chromium pack diffusion and plasma nitriding of mild steel / V. H. Baggio-Scheid et al. *Surface and Coatings Technology*. 2003. Vol. 163-164. P. 313–317.
7. Ozdemir O., Sen S., Sen U. Formation of chromium nitride layers on AISI 1010 steel by nitro-chromizing treatment. *Vacuum*. 2007. Vol. 81, no. 5. P. 567–570.
8. Schmidt D., Galetz M. C., Schütze M. Ferritic–martensitic steels: Improvement of the oxidation behavior in steam environments via diffusion coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2013.
9. Oxidation under pure steam: Cr based protective oxides and coatings / A. Agüero et al. *Surface and Coatings Technology*. 2013. Vol. 237. P. 30–38.
10. Wang Z. B., Lu J., Lu K. Chromizing behaviors of a low carbon steel processed by means of surface mechanical attrition treatment. *Acta Materialia*. 2005. Vol. 53, no. 7. P. 2081–2089.

11. Lu S. D., Wang Z. B., Lu K. Enhanced chromizing kinetics of tool steel by means of surface mechanical attrition treatment. *Materials Science and Engineering: A*. 2010. Vol. 527, no. 4-5. P. 995–1002.

12. Preparation and oxidation of an Y₂O₃-dispersed chromizing coating by pack cementation at 800°C / Y. B. Zhou et al. *Vacuum*. 2008. Vol. 82, no. 8. P. 748–753.

13. Discontinuous oxidation and erosion-oxidation of a CeO₂-dispersion-strengthened chromium coating / X. Peng et al. *Corrosion Science*. 2010. Vol. 52, no. 5. P. 1863–1873.

14. Богданов С. П. Получение покрытий на порошках методом йодного транспорта. *Физика и химия стекла*. 2011. Т. 2, № 37. С. 229–237.

15. Богданов С. П. Синтез твердых растворов в двойных металлических системах методом иодотранспорта. *Физика и химия стекла*. 2013. Т. 39, № 4. С. 643.

16. Морозова Е. М., Спивак Э. Д. Термическая обработка в станкостроении. Москва : Машгиз, 1949. 192 с.

17. Середа Б. П., Кругляк И. В., Кругляк Д. О. Инновационная технология получения хромированных диффузионных покрытий с использованием композиционных насыщающих сред. *Вісник*. 2018. № 3. С. 82–87.

18. Будова, склад та захисні властивості хромотитаноалітованих покриттів з бар'єрним шаром нітриду титану на сталі У8А / Т. В. Лоскутова, В. Г. Хижняк, І. С. Погребова, І. І. Білик, Є. О. Тарасенко // Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 6», 1 – 2 грудня 2016 року, м. Київ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 232-235.

19. Influence of vacuum activated diffusion chroming on mechanical properties of the surface of steel 25X1MF / S. G. Rudenkyi et al. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2020. P. 132–138.

20. Исследование процесса диффузионного хромирования в силикотермических смесях. *Промышленность. Прикладные науки*. 2015. № 3. С. 80–86.

21. Иванов С. Г. Диффузионное хромирование сталей из насыщающей обмазки. *Ползуновский альманах*. 2006. № 3. С. 191.

22. Иванов С. Г., Гурьев А. М. Хромирование сталей из насыщающих паст. *Фундаментальные исследования*. 2006. № 11. С. 73–73.

23. Гармаева И. А. Микротвердость покрытий на стали у8, полученных борированием и одновременным насыщением бором, хромом и титаном. *Ползуновский альманах*. № 4. С. 55.

24. Спосіб вакуумного дифузійного хромування сталевих деталей пат. 30333 А Україна: МПК (2006.01), С23С 10/12; заяв. 29.12.1999; опубл. 15.11.2000, бюл. № 6

25. Спосіб дифузійного хромування комплексним методом пат. 119615 Україна: МПК (2006.01), С23С 10/32; заяв. 25.07.2018; опубл. 10.07.2019, бюл. № 13

26. Спосіб дифузійного борохромування сталевих виробів пат. 110116 Україна: МПК (2006.01), С23С 10/32; заяв. 27.10.2014; опубл. 25.11.2015, бюл. № 22

27. Спосіб дифузійного хромування у вакуумі сталевих виробів пат. 5687 Україна: МПК (2006.01), С23С 10/32; заяв. 11.05.1993; опубл. 28.12.1994, бюл. №7

28. ГОСТ 1435-74. Сталь нелегированная инструментальная. Технические условия; действующий от 1976-01-01 Москва: стандартов. 26 с.

29. Гуляев А. П. Термическая обработка стали : Учебное пособие. Москва : Машгиз, 1960. 648 с.

30. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка стали : Учебное пособие. Москва : Профиздат, 1959. 110 с.

31. Трусов Б. Г. Code System for Simulation of Phase and Chemical Equilibriums at Higher Temperatures. *Engineering Journal: Science and Innovation*. 2012. No. 1.

32. Трусов Б. Г. Универсальная программа расчета параметров равновесия многокомпонентных термодинамических систем "АСТРА. *Математическое моделирование*. 1983. Т. 2, № 17. С. 81–91.

33. Пилюшенко В. Л. Справочник по практическому металловедению. Киев : Техніка, 1984. 135 с.

34. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников; действующий от 1977-01-01. Москва: стандартов. 10 с.

35. Estimation of Wear Resistance for Multilayer Coatings Obtained by Nitrogenchroming / I. Pavlenko et al. *Metals*. 2021. Vol. 11, no. 8. P. 1153.

36. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна; действующий от 1983-01-01. Москва: стандартов, 21 с.

37. Солнцев, Ю.П. Материаловедение: Учебник для вузов. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2004. 736 с.

38. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. Москва: Атомиздат, 1967. 474 с.

39. Кржижановский Р. Е., Штерн З. Ю. Теплофизические свойства неметаллических материалов (карбиды): Справочник. Ленинград: Энергия, 1976. 120 с.

40. Самсонов, Г.В. Физическое материаловедение карбидов: Учебное пособие. Киев: Наукова думка, 1974. 455 с.

41. Мониторинг трибологических параметров узла трения в условиях переноса массы / м. Н. Свирид та ін. *Problems of Friction and Wear*. 2009. № 51.

42. Виды трения. URL: <http://www.bigpi.biysk.ru> (дата звернення: 10.12.2021)

43. Рижков В.С., Панков, В.В. Економіка підприємства: Підручник. Київ: Слово, 2014. 253 с.

44. Бойчик І.М Економіка підприємства: Підручник. Київ: Кондор, 2016. 378 с.
45. Карапетян Е. Т. Економіка підприємства: Навчальний посібник. Тернопіль: Вектор, 2015. 320 с.
46. Маслак О. І., Воробйова Л. Д. Економіка промислового підприємства: Навчальний посібник. Київ: ЦУЛ, 2016. 172 с.
47. Гончаренко М. Л., Тимофєєва А. В. Оптимізація витрат як фактор підвищення рентабельності виробничого підприємства. *Економіка, бізнес та управління*. 2016. № 6. С. 93–97.
48. Салимжанов И. К. Ценообразование: Учебник, Москва: КноРус, 2007. 293 с.
49. НПАОП 28.5-1.02-07 Правила охорони праці при термічній обробці металів. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду; чинний від 18.12.2007. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2008. 19 с.
50. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : Підруч. для вищ. навч. закладів. Львів : Афіша, 2002. 320 с.
51. Кобевнік В. Ф. Охорона праці: Навчальний посібник. Київ: Вища школа, 1990. 286 с.
52. СанПіН 2.1.6.1032-01. Гігієнічні вимоги до якості атмосферного повітря; чинний від 2001-01-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 18 с.
53. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку; чинний від 01-12-1999. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 20 с.
54. Бедрий Я. І., Геврик Є. О. Охорона праці: Навчальний посібник Львів : Афіша, 2000. 280 с.
55. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні нормами вібрації робочих місць; чинний від 01-12-99. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 5 с.
56. Про внесення змін до Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами

індивідуального захисту : Наказ Держ. ком. України з пром. безпеки, охорони пр. та гірн. нагляду від 16.11.2009 р. № 194 : станом на 15 січ. 2019 р.

57. Типові норми безкоштовної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту робітникам і службовцям наскрізних професій і посад усіх галузей народного господарства та окремих виробництв (НПАОП 0.00-3.03-81): Норми Органів влади СРСР від 12.02.1981 р. № 47/П-2 : станом на 17 груд. 2012 р.

58. Гандзюк М. П., Желібо Є. П. Основи Охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Львів: Новий Світ, 2003. 408 с.

59. Ткачук К. Н., Халімовський М. О. Основи охорони праці: Підручник. Київ: Основа, 2011. 474 с.

60. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

61. Сибикин, Ю. Д. Охрана труда и электробезопасность: Учебное пособие. Москва: Радио и связь, 2012. 408 с.

62. Кукин П. П., Лапин Е. А. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда): Учебное пособие. Москва: Высшая школа, 1999. 318 с.

63. Сухарев С. М. Техноекологія та охорона навколишнього середовища: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Львів: Новий світ 2005. 256 с.

64. Амелічева Л. П. Забезпечення безпеки праці як умови трудового договору: дис. кандидата юрид. Наук : 12.00.05. Київ, 2008. 197 с.

65. Піскун І. П. Охорона праці (техніка безпеки). Навчальний посібник / І. П. Піскун та ін. / за ред. І. П. Піскуна. Луцьк: Волинянин, 2012. 448 с.

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б

Порядковий номер заявки, визначений заявником 23		Дата одержання		
[22] Дата подання заявки	Пріоритет	[51] МПК	ЕВ	[21] Номер заявки
		C23C 12/00		
[86]	Ресстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством-одержувачем			
[87]	Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки			
ЗАЯВА про видачу патенту України	МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ Державне підприємство "Український інститут інтелектуальної власності" вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601			
Подаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати: <input type="checkbox"/> патент України на винахід <input type="checkbox"/> позицію виключено <input checked="" type="checkbox"/> патент України на корисну модель				
[71] Заявник(и)			Код за ЄДРПОУ (для українських заявників)	
Сумський державний університет; 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, буд. 2 (UA) Сумский государственный университет; 40007, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, д.2 (UA) Sumy State University; 40007 Sumy, Rymaskogo-Korsakova st.,2 (UA)			05408289	
(зазначається повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом ВОІВ ST.3. Дані про місце проживання авторів - заявників наводяться за кодом (72))				
Прощу (просимо) встановити пріоритет <input type="checkbox"/> заявки <input type="checkbox"/> пунктів формули винаходу за заявкою № _ за датою: <input type="checkbox"/> подання попередньої (їх) заявки (ок) в державі-учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами (31),(32),(33)) <input type="checkbox"/> подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62)) <input type="checkbox"/> подання до Установи попередньої заявки (навести дані за кодом (66))				
[31] Номер попередньої заявки	[32] Дата подання попередньої заявки	[33] Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом ВОІВ ST.3	[62] Номер та дата подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку	[66] Номер та дата подання до Установи попередньої заявки
[54] Назва винаходу (корисної моделі) СПОСІБ ДИФУЗІЙНОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ				
Адреса для листування, прізвище або найменування адресата вул.Римського-Корсакова, буд.2, м.Суми-40007, Сумська обл.; ЦНТЕІ, СумДУ Телефон (0542)687-753 Е-mail info@cnti.sumdu.edu.ua Факс				
[74] Повне ім'я та ресстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності прізвище або повне ім'я іншої довіреної особи Гудков Сергій Миколайович				