

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ К.О. Дядюра

«__» _____ 2018 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження особливостей структуроутворення та властивостей комплексних боридних покриттів на інструментальних сталях»

Студент гр. МТ.м-71 _____

Охріменко В.О.

Керівник _____

Гапонова О.П.

Консультант
з економічної частини _____

Дядюра К.О.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т.П.

Нормоконтроль _____

Дядюра К.О.

Суми 2018

Охріменко В.О.

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів»

Спеціальність 8.132«Прикладне матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ К.О. Дядюра

« ____ » _____ 2018 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

_____ Охріменко Віктор Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження особливостей структуроутворення та властивостей комплексних боридних покриттів на інструментальних сталях».

Затверджена наказом по університету від « ____ » _____ 2018 р.
№ _____.

2. Термін здачі студентом роботи _____.

3. Вихідні дані проекту (роботи): дослідження процесу борирування виявило що борид FeB має високу крихкість, як поверхневий боридний шар.

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:

Охріменко В.О.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.		
Економічна частина	Дядюра К.О.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Літературний огляд	20.12.18	
2	Розділ 2. Вибір матеріалу та методів дослідження	20.12.18	
3	Розділ 3. Експериментальна частина	20.12.18	
4	Розділ 4. Економічна частина	20.12.18	
5	Розділ 5. Охорона праці	20.12.18	

7. Дата видачі завдання _____ 2018 р.

Студент: _____ Охріменко В.О.
(підпис)

Керівник: _____ Гапонова О.П.
(підпис)

Охріменко В.О.

АНОТАЦІЯ

Охріменко Віктор Олександрович. Дослідження особливостей структуроутворення та властивостей комплексних боридних покриттів на інструментальних сталях. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство». – Сумський державний університет, 2018 рік.

Магістерська робота присвячена вивченню впливу борирувальної суміші на структуру, фазовий склад та властивості комплексних боридних покриттів на інструментальних штампових сталях: У8, ХВГ та 5ХНМ.

При серійному та масовому виробництві штампування деталей є одним із найтехнологічніших процесів виготовлення машинобудівних деталей. Для штампування використовують інструмент «штамп» який складається із матриці та пуансону зазвичай.

Через те, що його виготовляють при одиничному, а рідше при дрібносерійному виробництві, має складність при виготовленні та високу відповідальність при отриманні деталей на виробництві.

Але як і будь-який інструмент він зношується тому багато виробництв та інститутів світу розробляють покриття та підвищення зносостійкості цих покриттів. Підвищують стійкість машин багатьма методами одна з яких є хіміко-термічна обробка. Для досягнення високої зносостійкості та твердості деталей машин застосовують борирування, якому піддають будь-які марки залізовуглецевих сплавів.

Борирування це один із найперспективніших методів обробки поверхні металів та сплавів, який дозволяє отримати високу зносостійкість, твердість та корозійну стійкість поверхневого шару.

Через високу твердість боридного шару, він має низьку пластичність, яка обмежує застосування борирування для зміцнення поверхні виробів, що

працюють в умовах знакозмінних навантажень, а також зазнають в процесі роботи механічні або термічні удари.

Одним із ефективних методів зменшення крихкості боридних шарів є їх мікролегування і створення сприятливого напруженого стану у поверхневому шарі. Легувальні елементи по різному впливають як на властивості поверхневого шару, так і на його будову, фазовий склад і механічні властивості.

Ключові слова: БОРИРУВАННЯ, БОРОМІДНЕННЯ, ПОКРИТТЯ, БОРОВАНАДЮВАННЯ, БОРОХРОМУВАННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ.

СУМІТТЯ

АННОТАЦИЯ

Охрименко Виктор Александрович. Исследование особенностей структурообразования и свойств комплексных боридных покрытий на инструментальных сталях. - Рукопись.

Квалификационная работа на соискание квалификации магистра по специальности 132 - «Материаловедение». - Сумской государственной университет, 2018.

Магистерская работа посвящена изучению влияния боридной смеси на структуру, фазовый состав и свойства комплексных боридных покрытий на инструментальных штамповых сталях: У8, ХВГ и 5ХНМ.

При серийном и массовом производстве штамповки деталей является одним из самых технологичных процессов изготовления машиностроительных деталей. Для штамповки используют инструмент «штамп», который состоит из матрицы и пуансона обычно.

Так что его изготавливают при единичном, а реже при мелкосерийном производстве, имеет сложность при изготовлении и высокую ответственность при получении деталей на производстве. Но, как и любой инструмент он изнашивается поэтому многие производств и институтов мира разрабатывают покрытия и повышения износостойкости этих покрытий. Повышают устойчивость машин многими методами, одна из которых химико-термическая обработка.

Для достижения высокой износостойкости и твердости деталей машин применяют борированья, которому подвергают любые марки железоуглеродистых сплавов.

Борированья это один из самых перспективных методов обработки поверхности металлов и сплавов, который позволяет получить высокую износостойкость, твердость и коррозионную стойкость поверхностного слоя. Из-за высокой твердости боридного слоя, он имеет низкую пластичность,

которая ограничивает применение борирования для укрепления поверхности изделий, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, а также испытывают в процессе работы механические или термические удары.

Одним из эффективных методов уменьшения хрупкости боридных слоев является их микролегирования и создание благоприятного напряженного состояния в поверхностном слое. Легирующие элементы по-разному влияют как на свойства поверхностного слоя, так и на его строение, фазовый состав и механические свойства.

Ключевые слова: БОРИРОВАНИЕ, БОРИДИРОВАНИЕ, ПОКРЫТИЕ, БОРИДИРОВАНИЕ, БОРИХРОМИРОВАНИЕ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ, ТВЕРДОСТЬ.

СУММІ

ABSTRACT

Viktor Okhrimenko. Investigation of the peculiarities of structure formation and properties of complex boride coatings on instrumental steels.

Qualifying work for obtaining master's qualification in specialty 132 - "Material Science". - Sumy State University, 2018.

The master's work is devoted to the study of the influence of boride mixture on the structure, phase composition and properties of complex boride coatings on tool stamping steels: U8, HVC and 5HNM.

In serial and mass production, stamping of parts is one of the most technologically advanced processes for the manufacture of machine-building components.

For stamping use a stamping tool which consists of a matrix and a punch usually. Because it is manufactured with a single, and less often, in small-scale production, has a complexity in the manufacture and high responsibility for the receipt of parts in the production.

But like any tool, it wears out so many factories and institutions of the world are developing coatings and improving the wear resistance of these coatings. Increase the stability of machines by many methods, one of which is the chemical and thermal treatment. To achieve high wear resistance and hardness of machine parts, use is made of boring, which is subjected to any grades of iron-carbon alloys.

Boring is one of the most promising methods for treating the surface of metals and alloys, which allows for high wear resistance, hardness and corrosion resistance of the surface layer.

Due to the high hardness of the boride layer, it has low ductility, which limits the use of boring to strengthen the surface of products that operate in conditions of alternating loads, as well as undergo mechanical or thermal shocks during the process.

One of the effective methods for reducing the brittleness of the boron layers is their microluberation and the creation of a favorable stressed state in the surface layer. The alloying elements in different ways influence both the properties of the surface layer, and on its structure, phase composition and mechanical properties.

Key words: BORING, PURIFICATION, BORROWING, COVERAGE, HARDENESS, PRIVACY.

С У М М І Т Ї

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота магістра: складається з 80 сторінок, 5 розділів, 17 рисунків, 8 таблиць, 15 формул, 32 літературних джерела.

Метою роботи є вдосконалення борирування як методу хімік-термічної обробки шляхом отримання комплексних боридних покриттів; дослідження особливостей структуроутворення дифузійних шарів на сталях: У8, ХВГ, 5ХНМ; встановлення впливу хімічного складу шихти для борирування на структуру, утворення дифузійних шарів та їх властивості.

Для досягнення зазначеної мети було потрібно вирішити наступні **завдання**:

- зробити літературний огляд відомих способів борирування та методів досліджень покриттів;
- дослідити структуру та властивості отриманих дифузійних покриттів;
- дослідити вплив складу борирувальної суміші на властивості, фазовий склад та структуру покриттів;
- експериментально вивчити абразивну зносостійкість комплексних боридних покриттів;
- оцінити ефективність застосування комплексних боридних покриттів в умовах виробництва.

Об'єкт дослідження – боридні покриття, отримані при твердофазному насиченні поверхні сталі бором, бором і міддю, бором і ванадієм та бором, ванадієм і міддю.

Предмет дослідження – структура, фазовий склад, мікротвердість та зносостійкість дифузійних боридних шарів на інструментальних сталях, отриманих при комплексному насиченні в борувальних порошкових середовищах. Для вирішення завдань і досягнення мети дослідження використовувалися методи: металографічний, дюрOMETричний,

рентгенографічний, випробування на зносостійкість при абразивному зношуванні.

Методи досліджень – експериментальні дані отримані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей боридних покриттів та сучасних рентгенографічних і металографічних методів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. При виконанні роботи було запропоновано новий метод комплексного насичення бором та проаналізовано структури, фізико-механічні властивості покриттів, отриманих при комплексному боридуванні інструментальної сталі.

Практичне значення одержаних результатів. Матеріали роботи можуть бути використані в навчальному процесі при підготовці лекцій та лабораторних робіт з дисциплін «Технологія нанесення та властивості покриттів», «Металознавство та термічна обробка», «Методи локальної поверхневої обробки та відновлення виробів», «Леговані сталі і сплави», «Фізика і механіка тертя та зношування». Також результати досліджень впровадженні у виробництво.

Апробація результатів роботи. Основні матеріали кваліфікаційної роботи магістра докладалися на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях, опубліковано 6 тез доповідей, 2 статті у фахових виданнях.

Ключові слова: БОРИРУВАННЯ, БОРОМІДНЕННЯ, ПОКРИТТЯ, БОРОВАНАДШУВАННЯ, ТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 1	18
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	18
1.1 Борирування як перспективний метод хіміко-термічної обробки сталей... 18	
1.2 Склади сумішей для твердо-фазного борирування виробів	22
1.3 Вплив складу борирувальної суміші на якість покриттів.....	24
1.4 Вплив легувальних елементів у сталі на властивості боридних покриттів	26
ВИСНОВКИ.....	28
РОЗДІЛ 2	30
ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1 Вибір матеріалів для досліджень.....	30
2.2 Методика нанесення дифузійних покриттів	33
2.3 Мікроскопічні дослідження	34
2.4 Випробування металу на мікротвердість.....	36
2.5 Випробування на абразивну зносостійкість.....	37
2.6 Рентгеноструктурний аналіз.....	38
ВИСНОВКИ.....	39
РОЗДІЛ 3	41
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	41
3.1 Структура комплексних боридних покриттів	41
3.2 Аналіз фазового складу покриттів	46
3.3 Дослідження зносостійкості одержаних покриттів.....	49
ВИСНОВКИ.....	51
РОЗДІЛ 4	53
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	53
ВИСНОВКИ.....	60

РОЗДІЛ 5	61
ОХОРОНА ПРАЦІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	61
5.1 Загальна характеристика термічного цеху	61
5.2 Аналіз потенційних небезпек на виробництві	63
5.2.1 Аналіз потенційних небезпек у термічному відділенні	63
5.3 Заходи для забезпечення безпеки праці.....	64
5.4 Екологізація виробництва	69
ВИСНОВКИ.....	72
ВИСНОВКИ.....	73
ЛІТЕРАТУРА.....	77

СУМІЇ

ВСТУП

Актуальність роботи. Для підвищення довговічності штампової оснастки можна застосувати хіміко-термічну обробку, а саме борирування. Даний метод підвищить зносостійкість та твердість деталей машин та інструменту, даному методу піддають будь-які марки залізовуглецевих сплавів.

Через свою високу твердість, боридний шар має низьку пластичність, яка і обмежує застосування даного методу для зміцнення поверхні виробів, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, а також зазнають в процесі роботи механічні або термічні удари.

Одним із ефективних методів зменшення крихкості боридних шарів є мікролегування даних шарів і створення сприятливого напруженого стану у поверхневому шарі. Легувальні елементи по різному впливають як на властивості поверхневого шару, так і на його будову, фазовий склад і механічні властивості.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення борирування як методу хіміко-термічної обробки шляхом отримання комплексних боридних покриттів; дослідження особливостей структуроутворення дифузійних шарів на сталях: У8, ХВГ, 5ХНМ; встановлення впливу хімічного складу шихти для борирування на структуру, утворення дифузійних шарів та їх властивості.

Завдання дослідження:

- зробити літературний огляд відомих способів борирування та методів досліджень покриттів;
- дослідити структуру та властивості отриманих дифузійних покриттів;
- дослідити вплив складу борирувальної суміші на властивості, фазовий склад та структуру покриттів;

- експериментально вивчити абразивну зносостійкість комплексних боридних покриттів;

- оцінити ефективність застосування комплексних боридних покриттів в умовах виробництва.

Об'єкт дослідження – боридні покриття, отримані при твердофазному насиченні поверхні сталі бором, бором і міддю, бором і ванадієм та бором, ванадієм і міддю.

Предмет дослідження – структура, фазовий склад, мікротвердість та зносостійкість дифузійних боридних шарів на інструментальних сталях, отриманих при комплексному насиченні в борувальних порошкових середовищах.

Для вирішення завдань і досягнення мети дослідження використовувалися методи: металографічний, дюрOMETричний, рентенографічний, випробування на зносостійкість при абразивному зношуванні.

Наукова новизна отриманих результатів. При виконанні роботи було запропоновано новий метод комплексного насичення бором та проаналізовано структури, фізико-механічні властивості покриттів, отриманих при комплексному борируванні інструментальної сталі.

Практичне значення одержаних результатів. Матеріали роботи можуть бути використані в навчальному процесі при підготовці лекцій та лабораторних робіт з дисциплін «Технологія нанесення та властивості покриттів», «Металознавство та термічна обробка», «Методи локальної поверхневої обробки та відновлення виробів», «Леговані сталі і сплави», «Фізика і механіка тертя та зношування». Також результати досліджень впровадженні у виробництво.

Апробація роботи. Результати роботи опубліковані у двох фахових наукових працях, та 9 роботах з яких: 2 статті у спеціалізованих наукових

виданнях України, 7 тез у збірниках доповідей наукових конференцій (список праць додається).

Структура кваліфікаційної роботи магістра. У вступі представлені: обґрунтування вибору теми роботи, мета та її завдання, використані методи досліджень, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Робота складається із п'яти розділів. У першому розділі представлений аналіз літературних джерел щодо визначення перспектив застосування борирування, що проводиться з метою підвищення твердості та зносостійкості деталей машин та інструменту. Показано, що недолік боридних шарів – висока крихкість. Тому покращення характеристик боридних покриттів є актуальною задачею. У другому розділі «Вибір матеріалів та методів досліджень» запропоновані методи досліджень - металографічний, дюрOMETричний, рентенографічний, випробування на зносостійкість при абразивному зношуванні; обґрунтований вибір матеріалів – інструментальні штампові сталі для холодного (У8, ХВГ) та гарячого (5ХНМ) деформування.

У третьому розділі магістерської роботи представлені результати експериментальних досліджень – структури комплексних боридних покриттів, дюрOMETричні дослідження, аналіз фазового складу покриттів, дослідження абразивної зносостійкості. Четвертий розділ присвячений розрахунку ефективності результатів науково-дослідницької магістерської роботи для виявлення необхідності впровадження розробок у виробництво. У п'ятому розділі «Охорона праці та навколишнього середовища» представлений аналіз шкідливих факторів, що виникають на виробництві, у термічному цеху.

Ключові слова: БОРИРУВАННЯ, БОРОМІДНЕННЯ, БОРОВАНАДЮВАННЯ, ПОКРИТТЯ, ТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ХТО – хіміко-термічна обробка.

ТО – термічна обробка.

НВ – твердість за Бринелем.

НРС – твердість за Роквеллом.

НV – твердість за Віккерсом.

НН, НСП, ННП – типи наголовних щитків.

мкм- мікромметр.

СУМІДІУ

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Борирування як перспективний метод хіміко-термічної обробки сталей

В наш час борирування застосовують у промисловості не менше, ніж більш відомі методи хіміко-термічної обробки (далі ХТО), такі як цементація та азотування. Даний вид ХТО застосовують для надання деталям міцності, зносостійкості та покращення корозійної стійкості сталі.

Процес борирування полягає в насиченні поверхневого шару бором при температурі 850-950⁰С. Розчинення бору в залізі незначно зростає в межах температур від 650 до 910⁰С, при підвищенні температури вище 900-920⁰С розчинність бору різко зростає [1]. В результаті даної термічної обробки на поверхні виробів утворюється тверді бориди FeB та Fe₂B, які мають високу міцність та твердість (1800-2000HV) [2].

При використанні борирування можна збільшити твердість у 1,5-15 рази порівняно з іншими методами ХТО.

Процес борирування проводять у різних карбюризаторах (табл. 1.1): порошковому (твердому), рідкому, газовому, шляхом електролізу, у плазмі тощо.

Кожен із методів (в кожному методі різний карбюризатор) борирування має ряд переваг та недоліків. Наприклад, газ ліборан (або трихлористий бор), який використовують для проведення газового борирування, викликає складності при транспортуванні та потребує балонів із корозійностійких матеріалів, а також є токсичним. Тому газове борирування застосовується обмежено у промисловості й у випадку масового виготовлення деталі. Через це промислового використання отримало борирування в порошкових сумішах, електролізне борирування, борирування в рідинах і борирування в пастах.

Основний недолік будь-якого способу борирування є крихкість поверхневого шару. Тому більшість досліджень направлено на пошуки шляхів отримання якісних боридних покриттів.

Встановлено [3], що вуглець в сталі повністю витісняється із зони боридів вглиб і утворює перехідну зону. Звідси можна зробити висновок, що цементит (Fe_3C) у даному покритті не підвищує крихкість.

Таблиця 1.1

Склади сумішей для борирування

Склад суміші для борирування	Температура, °C	Час, год.
Борирування у порошковій суміші		
Порошок бору (феробор, карбід бору, аморфний бор, та інших) 60-70%, активаторів (NaF, KF, LiF) 1-5%, окису алюмінію решта [4]	900-950	2-4
Борирування у розчинах солей		
Нейтральних солей (50% $BaCl_2$ і 50% $NaCl$) з додаванням бору (феробор, карбід бору, аморфний бор, та інших [4]	900-1050	2-3
Боратів ($Na_2B_4O_7$) з додаванням відновників [5]	900-1050	2-5
Газове борирування		
Ліборан, розчинений воднем (1:25)	800-850	2-4
Три-хлористий бор, розчинений воднем ($BCl_3/H_2=0,05$) [5]	750-950	3-6

Крихкість покриття залежить від багатьох факторів: електронної будови фаз, співвідношенням боридних фаз (FeB , Fe_2B) в шарі, морфологією боридів, напруженим станом і т.д. Вона також залежить від суцільності шару боридів на зміцнювальній поверхні [6].

Найчастіше при боридуванні отримують два типи покриття однофазні (Fe_2B) та двофазні (Fe_2B та FeB). Однофазні покриття володіють нижчою крихкістю, ніж двофазні, через те, що у двофазних покриттях дифузійного шару виникають розтягувальні напруженнями, що приводить до підвищення крихкості [7].

Відомо, що через свою високу твердість хімічна сполука FeB забезпечує високу твердість боридним покриттям, а також і підвищує крихкість. Іншим недоліком боридних покриттів є закрита пористість [8].

Утворення бориду FeB у покритті відбувається в тому випадку, коли вміст бору вище 16 %, а бориду Fe_2B при вмісті бору близько 9% [9].

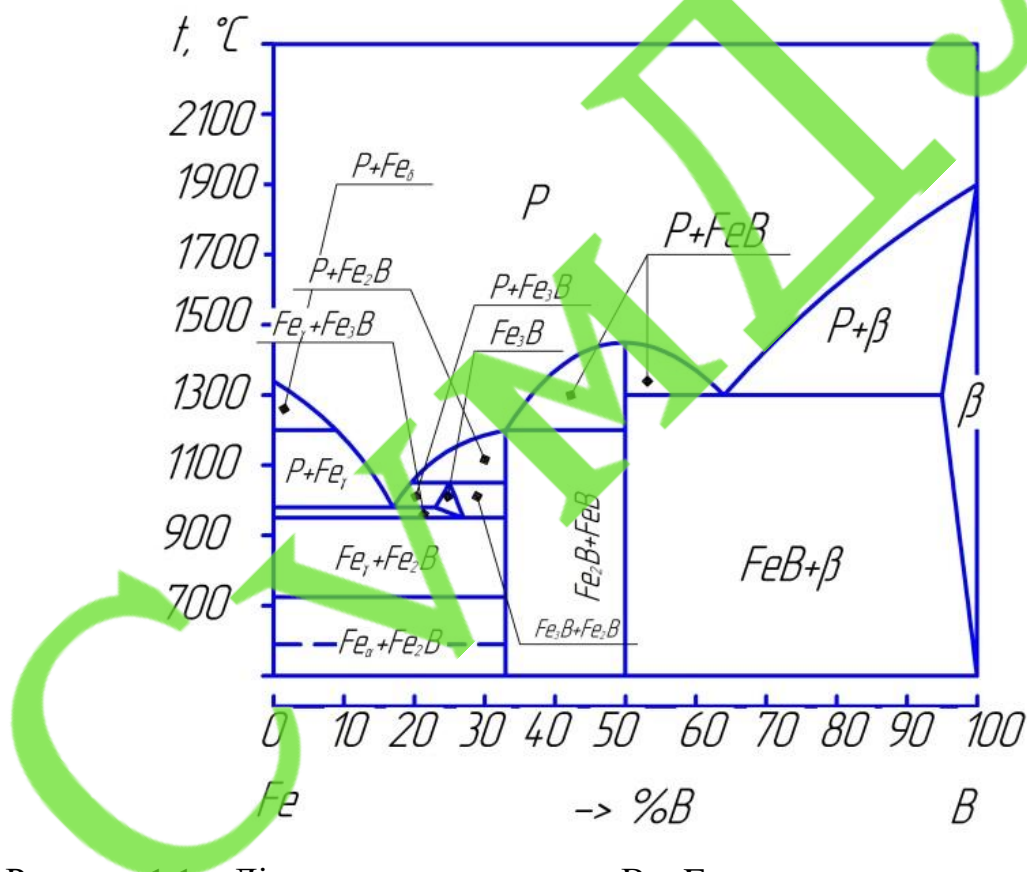


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи В – Fe.

Для зниження крихкості та покращення якості покриття можна застосувати мікролегування боридного шару іншими елементами, такими як мідь, хром, кремній, вольфрам, ванадій та інші. В свою чергу, кожен із

легувальних елементів забезпечує певні властивості, тому поверхня може мати нижчу або вищу твердість, кращу корозійну стійкість та інші цінні властивості.

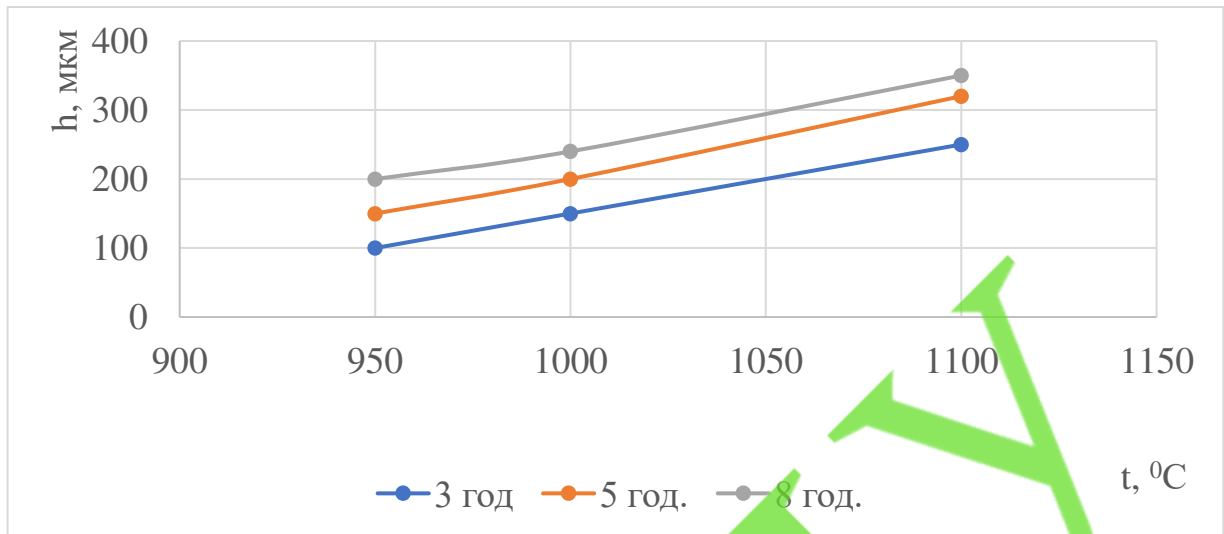


Рисунок 1.2 – Вплив температури насичення на глибину боридного шару (сталь 40). Борирування на основі карбиду бору (насичення відбувалося 3, 5 та 8 годин) [10]

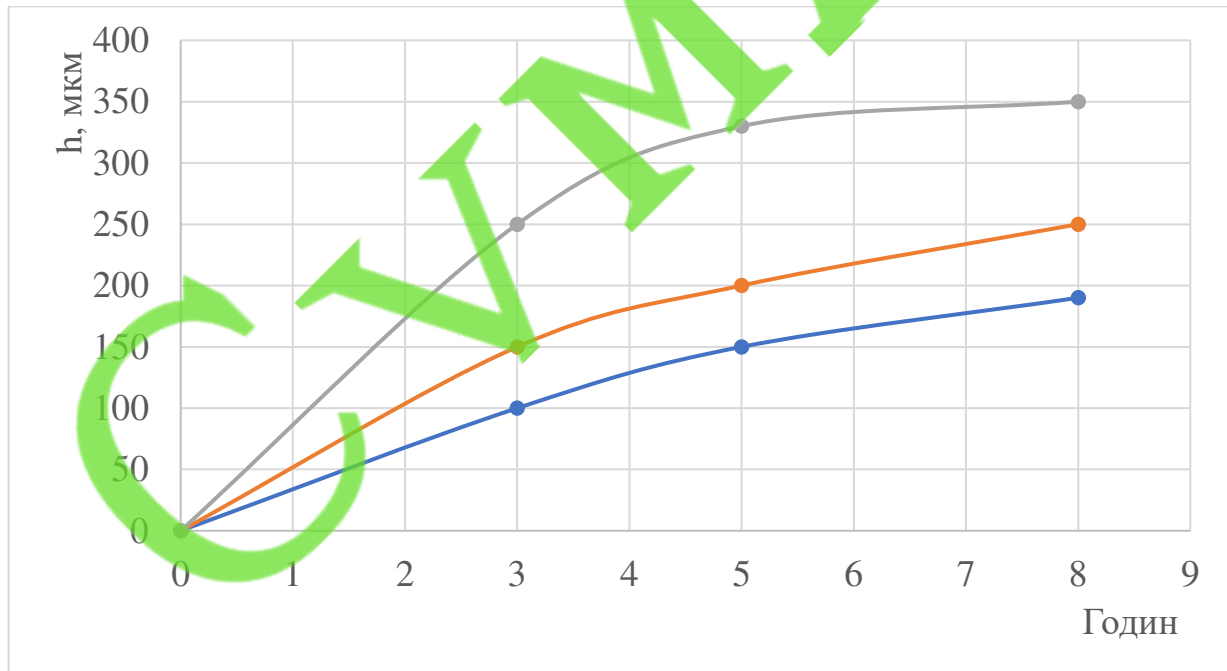


Рисунок 1.3 – Вплив часу насичення на глибину боридного шару (сталь 40). Борирування на основі карбиду бору (насичення відбувалося при температурах 950, 1000 та 1100 °C) [10]

Дослідження впливу температури і часу насичення на глибину борованого шару середньовуглецевої сталі показали, що з підвищенням температури швидкість наростання товщини борованого шару помітно збільшується.

1.2 Склади сумішей для твердо-фазного борирування виробів

Борирування у порошкових сумішах дозволяє проводити насичення поверхні виробів складної конфігурації. При правильно обраній шихті отримують якісні покриття, в деяких випадках швидкість насичення не поступається і рідинному та газовому борируванню. В якості карбюризатора зазвичай використовують борвмісні суміші (карбід бору, феробор, аморфний бор та інші). Методи насичення в сухій суміші не потребують складного обладнання, для роботи потрібно мати піч та ящик для проведення ХТО. Процес насичення в сухому карбюризаторі проводять і за допомогою приготування з сухих розчинів паст, але у таких випадках краще мати на виробництві СВЧ.

Головним недоліком борирування є крихкість покриття. Крихкість борированого шару визначається багатьма факторами, у тому числі електронною будовою фаз, співвідношенням боридних фаз (FeB , Fe_2B) в шарі, морфологією боридів, напруженим станом і т.п. Вона також залежить від суцільності шару боридів на зміцнювальній поверхні [8].

Шляхами зниження крихкості та покращення характеристик боридних покриттів (збільшення пластичності, жаростійкості, жароміцності), застосовують комплексне борирування з іншими елементами (хромом, молібденом, нікелем, деякими сплавами та інші). Елементи, що містяться в суміші, чинять істотний вплив як на кінетику формування боридних шарів, так і на будову, фазовий склад і властивості. Наприклад, деякі з них можуть

підвищувати пластичність, але суттєво знижувати твердість (мідь, титан) [11], майже не впливати на твердість, але зменшувати крихкість поверхні (хром, нікель).

При модифікуванні поверхневого шару та підшару невеликим вмістом молібдену та нікелю, забезпечується висока твердість, збільшується опір до крихкого руйнування, підвищується зносостійкість у широкому діапазоні температур [12]. Така суміш має наступний склад: в якості активаторів використовують фторид натрію (3–7%) та карбід натрію (1–5%), для мікролегування поверхневого шару використали оксиди нікелю (5–13%) та молібдену (5–13%), основним насичуючим елементом є карбід бору (62–86%). Самим головним недоліком даної суміші є висока вартість компонентів таких як оксиди нікелю та молібдену.

Позитивно на поверхневий шар може впливати легування його міддю [13-15]. Вона значно знижує крихкість покриття, підвищує його пластичність, покращує антифрикційні властивості, підвищує товщину шару, і майже не впливає на твердість покриття. Перевагою такого покриття є висока зносостійкість при зношуванні так, як мідь не вступає в реакцію з бором та залізом, виступає як окремий елемент в покритті, і при терті виконує роль «сухого мастила», також мідь покращує сам дифузійний шар, зменшуючи закрити пористість властиву при борируванні деталей та виробів.

Суттєво підвищити пластичність поверхневого шару може додавання хрому до шихти при борируванні. У роботах [16, 17] зазначається що зносостійкість деталей збільшується, крихкість зменшується, а пластичність покриття збільшується.

Якщо при борируванні до шихти додати порошок олов'яної бронзи, то досить сильно зросте пластичність покриття, збільшується товщина дифузійного шару, значно зменшується його крихкість [3]. Недоліки цього складу карбюризатора полягають у можливості отримання пористого покриття,

та досить високого зменшення твердості як поверхневого так і перехідного шару. Але покриття має високе зчеплення з поверхнею основного металу.

Доволі високий показник твердості та зносостійкості показує покриття при додаванні до борирувальної суміші кремнію [18, 19]. Також збільшується жаростійкість, корозійна стійкість і деякі електромагнітні властивості покриття, а також зменшується пористість дифузійного шару. При значному вмісті кремнію інтенсифікація процесу ХТО погіршується.

Отже, для реалізації борирування не потрібно особливого обладнання, його можна провести на виробництві за наявності термічної печі та контейнера для ХТО. Класичний спосіб борирування має суттєві недоліки, у тому числі значна крихкість шару. Для покращення фізико-механічних, експлуатаційних характеристик покриття застосовують комплексне борирування, сумісно з кремнієм, нікелем, міддю, хромом та іншими елементами.

1.3 Вплив складу борирувальної суміші на якість покриттів

Впливати на боридний шар можуть як легувальні елементи у карбюризаторі, так і легувальні елементи самої сталі. Чим вище вміст вуглецю та легувальних елементів у сталі, тим менша глибина боридного шару.

При класичному борируванні у шарі утворюється один або два бориди заліз FeB та Fe_2B вони і забезпечують високі властивості боридного шару (твердість, зносостійкість та інші).

При додаванні до борирувальної суміші порошку бронзи твердість покриття знижується, скоріш за все це пояснюється вмістом міді, але у той самий час підвищується пластичність та покриття має меншу пористість [20].

При додаванні міді у суміш покращується якість поверхневого шару, зменшується так звана закрита пористість покриття [6]. Можливо, мідь дифундує у пори тим самим закриваючи їх, так як у покриттях вона виступає у вільному вигляді. Також мідь знижує твердість як і бронза майже у 1,5 рази, але

вона покращує абразивну зносостійкість у 1,5-2 рази. Перевагою такого покриття є висока зносостійкість при зношуванні, так як мідь не вступає в реакцію з бором та залізом, виступає як окремий елемент в покритті і при терті виконує роль «сухого мастила» [13, 16, 21].

Нами показано, що при додаванні хрому до карбюризатору утворюються покриття, що володіють високою твердістю та зносостійкістю, крім того змінюється фазовий склад та морфологія структурних складових [21]. Аналіз отриманих шарів виявив, що після борохромування боридні голки мають дещо заокруглений характер. Такий вплив хрому на структуроутворення можна пояснити тим, що хром розчиняється у боридних фазах і зменшує об'єм ромбічної комірки боридів заліза [14].

При одночасному насиченні кремнієм та бором можливо отримати рівномірну товщину покриття на виробках. Товщина шару залежить від складу насичувальної суміші (зі збільшенням кремнію та зменшенням бору зменшується товщина шару). Поверхневі шари на сталевих виробках після насичення отримують високу твердість, зносостійкість, жаро- та корозійну стійкість і особливі електромагнітні властивості. При додаванні до суміші для бороування кремнію знижується в першу чергу крихкість покриття, але при додаванні кремнію більше 2,5% інтенсифікація процесу погіршується [18]. Покриття при боросиліціюванні складаються із бориду Fe_2B та силіциду $FeSi$. У шарі не завжди присутній борид FeB , що пояснює зменшення крихкості таких шарів.

При додаванні до насичувальної суміші молібдену та нікелю забезпечується висока твердість, опір крихкому руйнуванню. Внаслідок додавання до шихти нікелю підвищується пластичність покриття, а зносостійкість зростає в широкому діапазоні температур на це впливає додавання молібдену в порошкову суміш [15]. Структура легованого шару складається з фаз FeB , $(Fe, Ni)_2B$, NiB , $(Fe, Mo)_2B$, та $(Fe, Mo)_3$ (C, B) у

модифікованому шару. Але головний недолік даного процесу – висока вартість його компонентів.

Отже, додавання до боридної суміші хрому, міді, кремнію, нікелю та молібдену в певній кількості покращує якість боридних покриттів, забезпечує високу твердість та зносостійкість, крихкість при цьому зменшується.

1.4 Вплив легувальних елементів у сталі на властивості боридних покриттів

Головний елемент який присутній у кожній сталі – це вуглець, і чим його більше, тим менша дифузія бору в сталь. В тому ж напрямку впливають і легувальні елементи. З [22] відомо, що чим більше вуглецю в сталі, тим менше товщина дифузійного шару. Тому для боридування застосовують зазвичай низько та середньо вуглецеві, а також низьколеговані сталі.

Кількісні результати робіт відрізняються – це пояснюється наступними причинами: набором сталей (вмістом вуглецю у дозволеному інтервалі); включеннями в сталях (Si, Mn, S, P, N, H₂, O₂ та іншими); також характеристиками самих сталей (розміром зерна, кількістю включень та іншими) [18].

Сам спосіб боридування майже не впливає на кінетику росту боридного шару, і вносить лише кількісну зміну, який зв'язаний із фазовим складом карбюризатору [10].

Вуглець не розчиняється у боридах і тому він витісняється бором у перехідний шар. Найбільша концентрація вуглецю знаходиться в перехідному шарі, і з відділенням від боридного шару концентрація вуглецю швидко зменшується [4].

Якщо проаналізувати вплив вуглецю на глибину шару, то потрібно взяти до уваги, що зі зростом вуглецю в сталі швидкість дифузії знижується через зменшення градієнту концентрації вуглецю між перехідною зоною та

серцевиною сталі. Якщо концентрація вуглецю у талі 0,8-1,2%, то зниження товщини шару пояснюється утворенням нової сполуки – борного цементиту. Причина утворення даної сполуки – це збільшення концентрації В та С у перехідній зоні. Концентрація даних елементів вище, ніж може розчинитися у аустеніті при борируванні. Тому товщина шару знижується швидко, навіть швидше ніж знижується товщина дифузійної зони шару. Тому зі збільшенням вуглецю в сталі компактність шару збільшується, а голчастість знижується [4].

Такий елемент як хром при його низькій концентрації в сталі може покращувати дифузію бору в сталь. Але при його вмісті більше ніж 0,5 % він досить сильно зменшує товщину боридного шару. З підвищенням температури насичення негативний вплив хрому зростає [22].

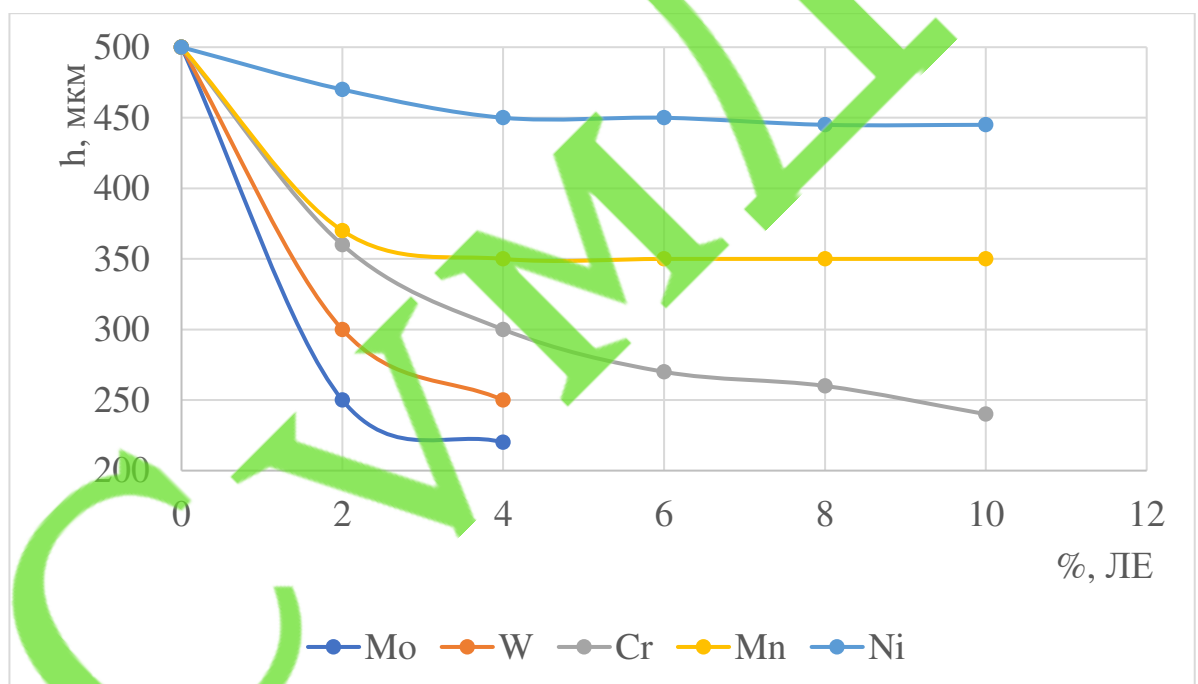


Рисунок 1.4 – Вплив легувальних елементів на товщину боридного шару технічного заліза ($t=1100^{\circ}\text{C}$, $\tau=5$ годин)

Хром зменшує швидкість дифузії бору в аустеніті і тим самим зменшує товщину перехідної зони. Він також понижує концентрацію вуглецю в цій зоні,

та підвищує поверхневу твердість і крихкість боридного шару [8]. Твердість однофазного боридного шару та бориду Fe_2B знижується.

Марганець незначно знижує товщину дифузійного шару і сприяє його окрихчуванню. При двофазному борируванні впливає сильніше на зменшення дифузійного шару, ніж при однофазному. Марганець збільшує кількість бориду FeB у поверхневому шарі, так як розчиняється в ньому і збільшує його твердість та крихкість.

Нікель у сталях майже не знижує товщину дифузійного шару, він впливає у інтервалі від 0 до 1% Ni , далі майже не впливає. Він не змінює товщину перехідної зони, але відчутно збільшує розчинність бору в ній і знижує концентрацію вуглецю. Впливає на мікротвердість знижуючи її, і тим самим знижуючи крихкість поверхневого шару та знижує зносостійкість покриття.

Найбільше знижують товщину дифузійного покриття вольфрам та молібден. При легуванні молібденом структура боридних голлок ускладнюється, вольфрам на структуру не впливає.

Молібден в сталі нейтралізує підвищення здатності бору та вуглець до росту аустенітного зерна у перехідній зоні. Молібден та вольфрам збільшують мікротвердість та мікрокрихкість бориду FeB , та навпаки працюють із боридом Fe_2B . Молібден незначно знижує зносостійкість і здатність шару до високотемпературного окиснення.

ВИСНОВКИ

Борирування є одним із найперспективніших видів хіміко-термічної обробки. Але він має ряд своїх недоліків, один із них – це висока крихкість покриття, через присутність у покритті фази FeB .

Для зниження крихкості боридного покриття рекомендується додавати до борирувальної суміші такі елементи як мідь, титан, хром, ванадій, або одночасно мідь та ванадій, або нікель та молібден.

Але на властивості покриття впливають не лише легувальні елементи в шихті для борювання, а і легувальні елементи в сталі. Кожен із них впливає по різному, але у всіх них є спільна риса вони всі знижують дифузію бору в сталь в тій чи іншій мірі. Тому доцільно борювати низьколеговані сталі. Вуглець як і всі легувальні елементи, зі збільшенням його вмісту в сталі зменшує товщину боридного покриття, при чому при концентрації вуглецю 0,8% і ймовірніше утворення боридного цементиту. Для борювання ефективно застосовувати низько- та середньовуглецеві сталі.

СУМІДІ

РОЗДІЛ 2

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір матеріалів для досліджень

Для проведення експериментальних досліджень були виготовленні зразки з інструментальних сталей У8, ХВГ та 5ХНМ.

Сталь У8 застосовують для виготовлення інструменту, що працює в умовах, що не викликають розігріву ріжучої кромки: фрез, зенкеру, сокир, стамесок, доліт, пил поздовжніх і дискових, накатних роликів, викруток, бічних кусачок [24]. В табл. 2.1 поданий хімічний склад сталі У8.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі У8, ГОСТ 1435 – 99

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.75–	0.17–	0.17–	До	До	До	До	До
0.84	0.33	0.33	0.25	0.028	0.03	0.2	0.25

Сталь ХВГ застосовують для вимірювального та ріжучого інструменту, для якого жолоблення при гартуванні неприпустимо, різьбові калібри, протяжки, довгі мітчики, довгі розгортки і інший вид спеціального інструменту, холодно-висадні матриці і пуансони, технологічне оснащення, та штампи для холодного деформування [24-25]. В табл. 2.3 поданий хімічний склад цієї сталі.

Таблиця 2.2

Хімічний склад сталі ХВГ, ГОСТ 5950 – 2000

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W	Cu
0.9 -	0.1 -	0.8 -	До 0.4	До 0.03	До 0.03	0.9 -	1.2 -	До 0.3
1.05	0.4	1.1				1.2	1.6	

Сталь марки 5ХНМ є інструментальною, якісною, середньо-легованою, напів-теплостійкою, підвищеною в'язкості і високої прогартованості [24-25]. Її хімічний склад наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Хімічний склад сталі 5ХНМ, ГОСТ 5950-2000

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0.5 - 0.6	0.1 - 0.4	0.5 - 0.8	1.4 - 1.8	До 0.03	До 0.03	0.5 - 0.8	0.15 - 0.3	до 0.3

Сталь 5ХНМ має наступне призначення [25] – виготовлення молотових штампів, пароповітряних і пневматичних молотів з масою частин, що падають більше, ніж 3 тони, пресові штампи машинної швидкісної штамповки під час горячого деформування легких кольорових сплавів, блоки матриць для вставок горизонтально-кувальних машин.

Сталь ХВГ відноситься до інструментальних сталей підвищеної прогартованості. Розглянемо вплив вуглецю та легувальних елементів на властивості сталі. З ростом вмісту вуглецю в структурі сталі збільшується кількість цементиту, при одночасному зниженні частки фериту [25]. Зміна співвідношення між складовими приводить до зменшення пластичності, а також до підвищення міцності і твердості. Міцність підвищується до вмісту вуглецю близько 1%, а потім вона зменшується, так як утворюється груба сітка вторинного цементиту. Вуглець впливає на властивості в'язкості. Збільшення вмісту вуглецю підвищує поріг холодноламкості та знижує ударну в'язкість. При вмісті вуглецю близько 1% збільшується не тільки кількість, а і розмір карбідів.

Сприятливий вплив здійснює хром на ряд показників [25]. У міру підвищення його концентрації в твердому розчині істотно зростає стійкість переохолодженого аустеніту як в перлітній, так і проміжній областях, підвищується прогартованість сталі. Підвищуючи стійкість проти розчинення

при нагріванні цементиту і карбідів M_7C_3 , $M_{23}C_6$, хром сприятливо впливає на чутливість до перегріву «монолегованих» сталей (містять незначні кількості вольфраму або молібдену). Крім того, хром чинить позитивний вплив на окалиностійкість і сприяє значному підвищенню зносостійкості. Сукупність перерахованих факторів визначила можливість широкого використання хрому для легування інструментальних сталей різного призначення.

Марганець не утворює власних карбідів в сплавах на основі заліза [25], і тому його вплив на структуру сталей у відпаленому стані проявляється головним чином в зміні концентрації вуглецю в евтектоїді. Утворюючи з γ -залізом необмежений ряд твердих розчинів, марганець значно підвищує стійкість переохолодженого аустеніту і зміщує вниз температури $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення.

Як відомо, легування сталей марганцем підвищує прогартуваність [25]. Цим визначається доцільність легування цим елементом штампових сталей, призначених для виготовлення габаритних молотових і пресових інструментів. Мало змінюючи чутливість до перегріву і, як наслідок, оптимальні температури гартування, марганець істотно знижує критичну швидкість охолодження.

Легування сталі вольфрамом позитивно впливає на ряд властивостей сталі [25]: підвищується міцність, твердість, зносостійкість за рахунок утворення легованих та спеціальних карбідів. Спеціальний карбід M_6C може містити хром, що знижує температуру його розчинення при нагріванні і полегшує проведення термічної обробки інструментальних сталей. Утворюючи тугоплавкі карбіди, вольфрам сприяє подрібненню зерна аустеніту.

Розчинність нікелю у фериті [25] – до 5% при 700 °С і 10% при 400 °С; розчинність в аустеніті – не обмежена. Вплив нікелю на властивості фериту підвищує міцність, твердість, пластичність, питомий електроопір і коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність. Підвищує ударну в'язкість при вмісті нікелю до 2%. Не має схильності до карбідоутворення.

Вплив на властивості аустеніту знижує точки A_1 і A_3 і підвищує A_4 , зміщує точку S вліво, дещо впливає на зменшення схильності до росту зерна.

Дещо збільшує прогартованість у парі з хромом, зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку M_n , збільшує кількість залишкового аустеніту.

Також нікель підвищує в'язкісні характеристики сталі. Нікель підвищує стійкість в агресивних середовищах, впливає на поліморфізм заліза, збільшує температурний інтервал між критичними точками A_3 і A_4 .

Молібден є легуючим елементом [25], що забезпечують червоностійкість. Він утворює в сталі карбід M_6C , який при аустенітизації часто переходить в твердий розчин, забезпечуючи отримання після гартування легovanого молібденом мартенситу. Молібден ускладнює розпад мартенситу при нагріванні, забезпечуючи необхідну червоностійкість.

Нерозчинена частина карбиду Me_6C призводить до підвищення зносостійкості сталі. Навіть 0,3% молібдену в сталі робить її не чутливою до відпускнуї крихкості 2-го роду.

2.2 Методика нанесення дифузійних покриттів

Для проведення експериментальних досліджень були виготовленні зразки зі сталей У8 та ХВГ.

Борирування здійснювали у твердому карбюризаторі при температурі $900^{\circ}C$ протягом 4 годин. Зразки завантажували до контейнерів та засипали заздалегідь підготовленими насичувальними сумішами. При цьому відстань між зразками в контейнерах складала не менше 5 міліметрів. Борирування здійснювали в контейнерах з плавким затвором у лабораторній печі. Насичення проводили в сумішах наступного складу:

1. Класичне борирування: технічний карбід бору, хлористий амоній та окис алюмінію [1].

2. Борохромування: технічний карбід бору, ферохром, фторопласт-4 та окис алюмінію.

3. Бороміднення: технічний карбід бору, порошок міді, фторопласт-4 та окис алюмінію.

4. Борованадіювання: технічний карбід бору, ферованадій, графіт, фторопласт-4 та окис алюмінію.

5. Борованадієміднення: технічний карбід бору, порошок міді, ферованадій, графіт фторопласт-4 та окис алюмінію.

По закінченню ізотермічної витримки контейнер з деталями діставали з печі і охолоджували до кімнатної температури на повітрі. Після охолодження контейнерів, скло розбивали, контейнери розпаковували і витягували зразки.

2.3 Мікроскопічні дослідження

Під мікроскопічним методом дослідження металу розуміють його вивчення за допомогою металографічних мікроскопів на спеціально підготовлених плоских зразках – мікрошліфах.

Внутрішня будова металу, досліджувана за допомогою мікроскопа називається мікроструктурою. Збільшення при мікроаналізі вибирається залежно від мети дослідження і вивчаємої структури [26].

Максимальне збільшення звичайних оптичних мікроскопів досягає 1500 разів. Однак при звичайних дослідженнях нормальних структур вуглецевих і кольорових сплавів досить збільшення від 90 до 600 разів. Як правило, вивчення мікроструктури завжди починають з малих збільшень (90 - 100 разів), а потім, у міру необхідності, переходять на великі збільшення.

Основними завданнями мікроаналізу є:

- визначення величини і форми зерен різних фаз і структурних складових сплавів;

- виявлення структур, характерних для деяких видів обробок;

- виявлення мікропорків, що порушують цілісність металу - мікротріщин, раковин та ін.;

- виявлення і дослідження неметалічних включень;

- визначення хімічного складу сплаву, якщо відомий склад присутніх фаз і їх питома вага;

- виявлення вимірювань будови сплаву, що відбуваються під впливом різних режимів термічної, хіміко-термічної обробки струмами високої частоти (СВЧ) та іншими видами обробки;



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд мікроскопу МІМ – 7

Мікроструктурний метод дослідження металів містить наступні етапи:

– вирізання зразка з деталі для подальшого вивчення;

– приготування мікрошліфа;

– травлення поверхні мікрошліфа спеціальними реактивами для виявлення мікроструктури (у нашому випадку розчином сірної кислоти (H_2SO_4), у спирті);

– дослідження шліфа під мікроскопом.

Шліфування поверхні мікрошліфа проводиться на шліфувальному папері різної зернистості (від 160 до 2000 μm). При переході від одного номера паперу

до більш дрібного необхідно ретельно промивати зразок у воді, а потім починати шліфовку в напрямку, перпендикулярному попереднім рискам.

Час шліфування визначається часом, який необхідно для видалення рисок від попередньої шліфовки.

Після шліфування найдрібнішим папером проводять полірування шліфа для усунення решти рисок.

Полірування може бути механічним або електролітичним. Механічне полірування більш просте і доступне, у той час як електролітичне вимагає спеціального обладнання та реактивів.

Після приготування мікрошліфа його вивчають під металографічним мікроскопом. На нетравленому шліфу, тобто безпосередньо після полірування, на світлому полі мікрошліфа можна добре бачити неметалеві включення (сульфіди, оксиди, силікати, шлаки та ін.), а також графіт і його форму в сірому чавуні. Тому вивчення нетравленого шліфа є першим етапом мікроаналізу металів і сплавів [27].

Для виявлення мікроструктури металу поверхню шліфа піддають травленню спеціальними реактивами (HNO_3 , H_2SO_4 , FeCl_2 , CH_3COOH та інші).

Після полірування будь-яким способом зразок промивають водою, поліровану поверхню обережно протирають ваткою, змоченої в спирті, а потім просушують фільтрувальним папером.

Дзеркальна поверхня, що виходить після полірування, під мікроскопом має вид світлого кола і не дозволяє судити про будову металу, або сплаву.

Тільки неметалічні включення (наприклад, сульфід в сталі, графіт у сірому чавуні) виділяються на світлому тлі полірованого мікрошліфа.

2.4 Випробування металу на мікротвердість

Мікротвердість – це твердість окремих фаз та структурного складу, твердість всередині окремих зерен, тонкого шару металу (наприклад після ХТО), і тонких листів та фольги [28].



Рисунок 2.2 – Фото мікротвердоміру ПМТ-3

Вимірювання мікротвердості виготовляють за вимогами ГОСТ 9450-76 за методом відновленого відбитку, або за методом невідновленого відбитку з використанням:

- чотири-гранної піраміди з квадратною основою;
- три-гранної піраміди з основою у вигляді рівностороннього трикутника;
- чотири-гранної піраміди з ромбічною основою;
- бі-циліндричного наконечника.

Вимірювання мікротвердості відноситься до мікро-механічних випробувань, які були розроблені для металографічних випробувань властивостей окремих структурних складників сплаву.

2.5 Випробування на абразивну зносостійкість

Дослідження на зносостійкість проводили на машині випробувань на тертя СМТ-1 (рис. 2.4). Випробування проводили на абразивне зношування покриття згідно ГОСТу 23208-79.

В якості абразивного матеріалу використовували кварцовий пісок. Випробування проводили на стандартних зразках, при частоті обертання $n = 60 \pm 2$ об/хв (всього 600 обертів на кожний зразок), та навантаження $44,1 \pm 0,25$ Н.

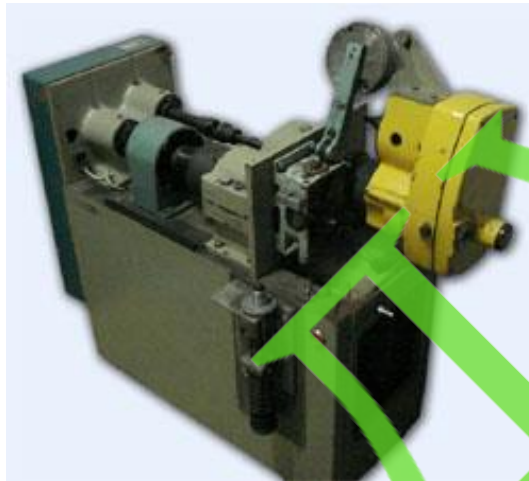


Рисунок 2.3 – Фотографія універсальної машини тертя УМТ – 1 («Унітриб»)

2.6 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгенографічний аналіз проводили в монохроматичному CuK_α випромінюванні, на дифрактометрі PROTOAXRD, який має точковий кремнієвий детектор (SPD).

Дифрактограми знімали методом шагового сканування. Крок сканування складав $0,05^\circ$, час експозиції у точці – 2 секунди.

Обробку експериментальних даних виконали за допомогою програми для повно-профільного аналізу рентгенівських спектрів від суміші полікристалічних фазових складових Powdercell 2.4.

Через багатофазність і накладання ряду піків їх розділ проводили шляхом апроксимації дифракційних максимумів функцій Pseudo-Voigt2.

Методом найменших квадратів досягали найкращого співпадання експериментального та апроксимійного профілів з урахуванням повторюваності $\text{CuK}\alpha$ – випромінювання.



Рисунок 2.4 – Фотографія дифрактометра PROTOAXRD

ВИСНОВКИ

Для виконання дослідження було запропоновано обрати сталі: У8, ХВГ, 5ХНМ. Сталь У8 використовують для виготовлення інструменту який не вимагає високої теплостійкості. Сталь ХВГ застосовують для виготовлення інструменту, його робоча температура може досягати 100°C . Сталь 5ХНМ застосовують для виготовлення штампів для гарячого штампування, робоча температура може бути від 300 до 450°C .

Мікроскопічні дослідження застосовують для дослідження мікроструктури сталей та поверхневого шару зразків. Дослідження проводилися на мікроскопі МІМ-7.

Випробування дослідження мікротвердості застосовують для визначення твердості окремих фаз та структурних складових металу. Вимірювання мікротвердості проводять на обладнанні ПМТ-3.

Дослідження на зносостійкість проводять на мішинах випробування для тертя, у нашому випадку на машині для тертя СМТ-1, за ГОСТом-23208-79.

СУМДУ

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

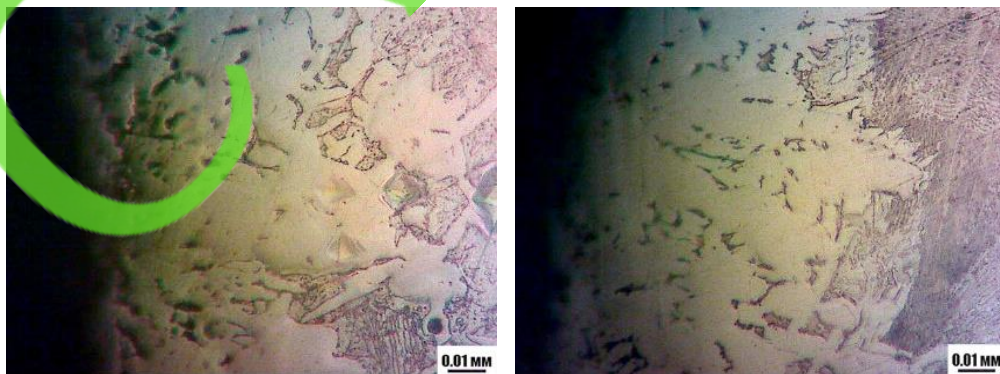
Більшість підприємств використовує борирування для підвищення зносостійкості поверхні виробів. В деяких випадках для підвищення корозійної стійкості поверхневого шару.

Основний недолік боридних покриттів – це підвищена крихкість через високу твердість бориду FeB . Один із методів зниження крихкості та підвищення пластичності покриття є модифікування покриття іншими елементами або групою елементів: Ni , Ti , Mo , Cu , Cr та інші.

3.1 Структура комплексних боридних покриттів

Згідно діаграми стану $Fe-B$ (рис. 1.1) при досягненні концентрації бору 33 ат. % в залізі утворюються осередки фази Fe_2B , які поступово заповнюють всю поверхню сталі. При збільшенні концентрації B до 49 ат. % утворюються ділянки фази FeB , які зі збільшенням часу витримки при ХТО поступово поширюються по поверхні фази Fe_2B .

Наступне вростання фази Fe_2B в сталеву матрицю пов'язане з дифузією іонів бору через фазу FeB .



а

б

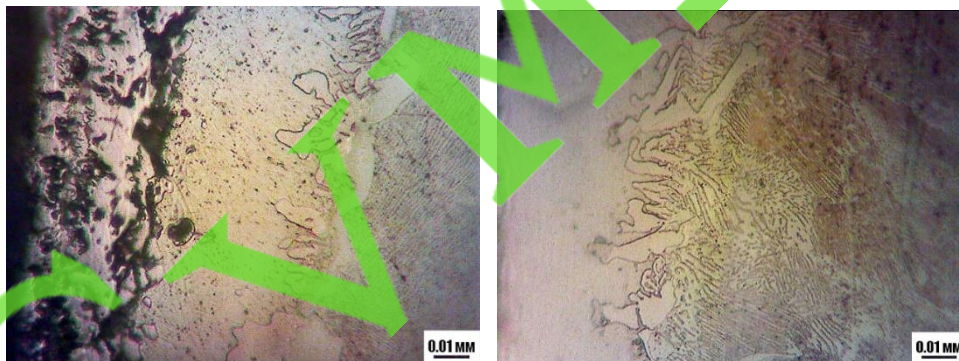
Рисунок 3.1 – Мікроструктура шарів після бороміднення на сталях:
а – сталь У8; б – сталь ХВГ

При металографічному дослідженні боридних покриттів на інструментальних сталях встановлено, що покриття при класичній технології насичення мають голчату структуру та формують суцільний однорідний шар, з товщиною до 100-200 мкм. Умови для насичення всіх шарів були однакові: 4 години та при температурі 900-950°C.

Отримані комплексні покриття подібні до класичних покриттів, і мають голчату структуру з чіткою межею покриття та основи. Однак мають різний характер розташування та форму структури, а також різну товщину дифузійного шару.

Покриття після бороміднення щільні з виразною голчатою структурою дифузійного шару (рис. 3.1) порівняно зі класичним боридуванням. Крім того, зменшується характерна для боридних покриттів закрита пористість.

Можливо, дифузія міді сприяє зменшенню пор у покритті. Товщина шару на сталі У8 130-150 мкм, на сталі ХВГ – 140-150 мкм та на сталі 5ХНМ – до 160 мкм.



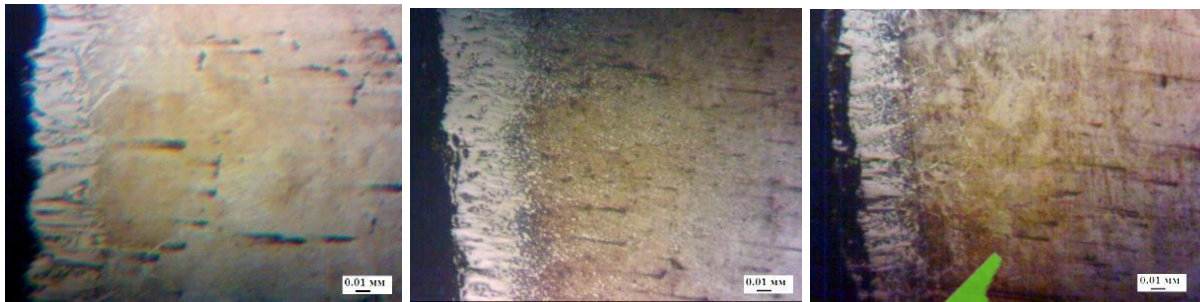
а

б

Рисунок 3.2 – Мікроструктура шарів після борохромування на сталях:
а – сталь У8; б – сталь ХВГ

Після борохромування боридні голки мають дещо заокруглений характер (рис. 3.2). Очевидно, подібний вплив хрому на форму структурних складових пояснюється тим, що хром розчиняється у боридних фазах і зменшує об'єм ромбічної комірки боридів заліза.

Основний внесок у зменшення об'єму елементарної комірки, за думкою авторів [17], вносить зміна параметра «С».



а

б

в

Рисунок 3.3 – Мікроструктура боридних шарів після борованадіювання: а – сталь У8; б – сталь ХВГ; в – сталь 5ХНМ

Після борованадіювання (рис. 3.3) товщина дифузійних шарів знижуються майже у два рази порівняно із класичною технологією борирування і складає 80-90 мкм для сталі У8, близько 100 мкм для сталі ХВГ та 100-110 мкм для 5ХНМ. Покриття щільні володіють меншою пористістю. Продивляється чітко видима голчата структура боридного покриття, голки боридів нормально орієнтовані до поверхні зразку.

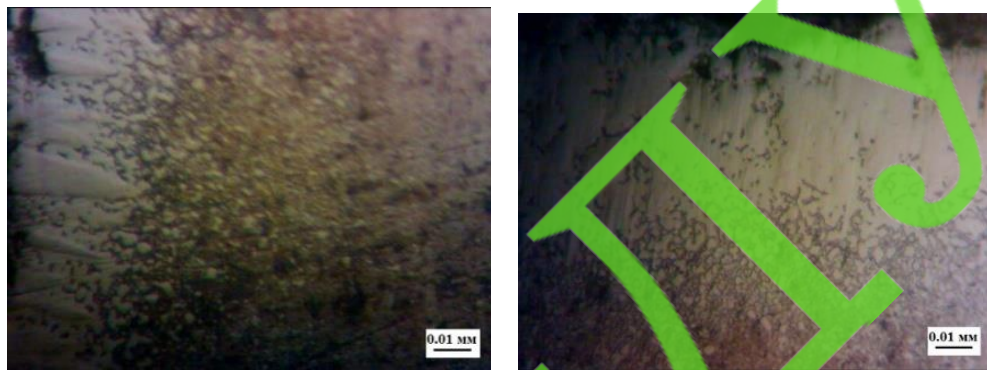
Після борованадієміднення (рис. 3.5) товщина покриття дещо зростає порівняно із борованадіюванням і складає 50-70 мкм для сталі У8, 50-70 мкм для сталі ХВГ та 60-85 мкм для 5ХНМ, але вона нижча за товщину покриттів після борирування.

Очевидно, присадки металу (ванадію), що містяться в карбюризаторі, зменшують товщину дифузійного шару. Вплив міді та ванадію покращують якість покриття. Покриття щільні, характеризуються меншою пористістю. Товщина дифузійного шару після борованадієміднення вище ніж після борованадіювання.

На сталі 5ХНМ формуються покриття, що мають більшу товщину, порівняно за сталями У8 та ХВГ, очевидно, через нижчий вміст вуглецю в сталі, легувальні елементи у сталях знижують дифузійний шар, а елементи

хром, вольфрам і марганець знижують глибину покриття більше ніж хром, нікель і молібден (рис. 1.4).

Аналіз мікроструктури боридного шару сталі ХВГ при більшому збільшенні показав, що голки боридів мають заокруглений характер як після борованадіювання, так і після борованадієміднення(рис. 3.4). Очевидно, хром, що міститься в сталі, впливає на морфологію фаз в шарі. Такий вплив хрому можна пояснити тим, що хром розчиняється у боридних фазах і зменшує об'єм ромбічної комірки боридів заліза [14].

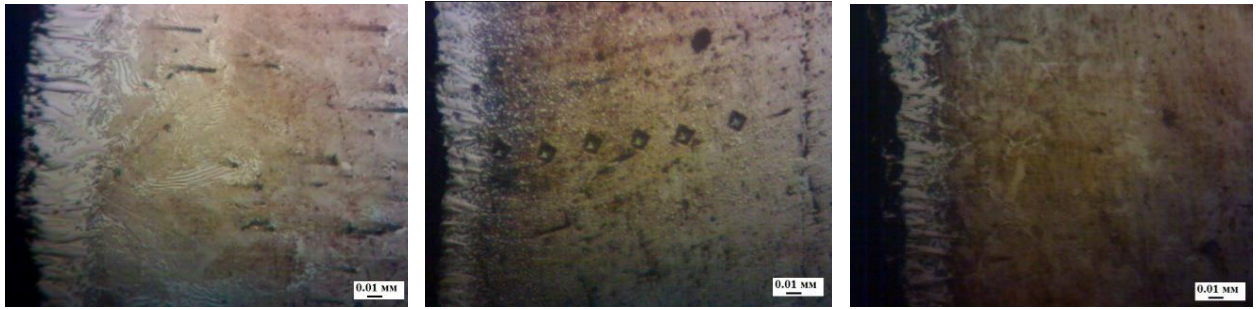


а

б

Рисунок 3.4 – Мікроструктура комплексних боридних покриттів на сталі ХВГ: а – покриття після борованадіювання; б – покриття після борованадієміднення

ДюрOMETричні дослідження показали, що отримані шари після класичної технології насичення мають близько 20 ГПа, після бороміднення – ~ 10,9 ГПа для сталі У8; ~ 15 ГПа для ХВГ та ~ 14 ГПа для 5ХНМ, що дещо нижче твердості борированого шару при класичній технології насичення (мікротвердість ~ 20 ГПа), після борохромування мають максимальну мікротвердість поверхні ~ 16 ГПа для сталі У8 та ~ 19 ГПа для ХВГ.

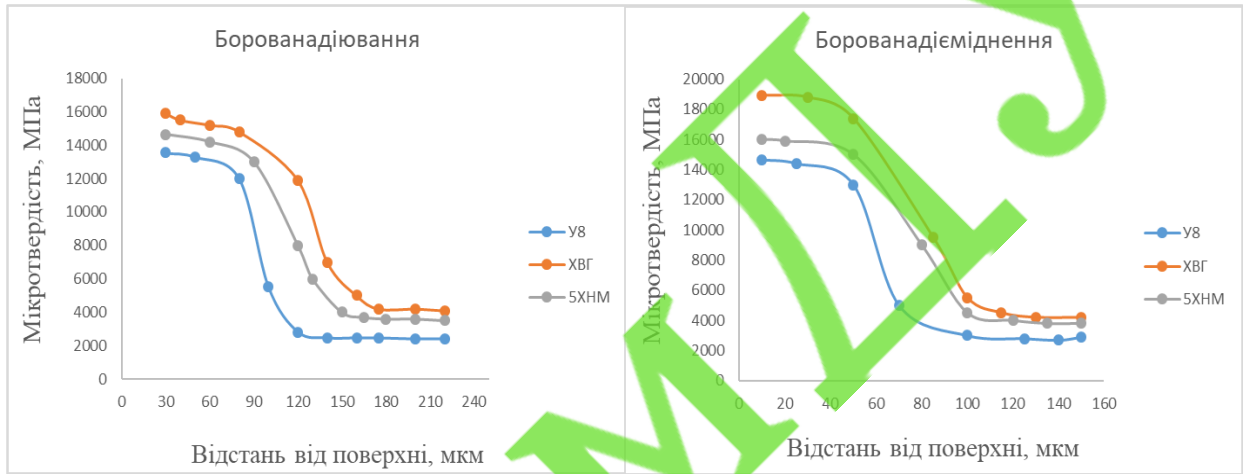


а

б

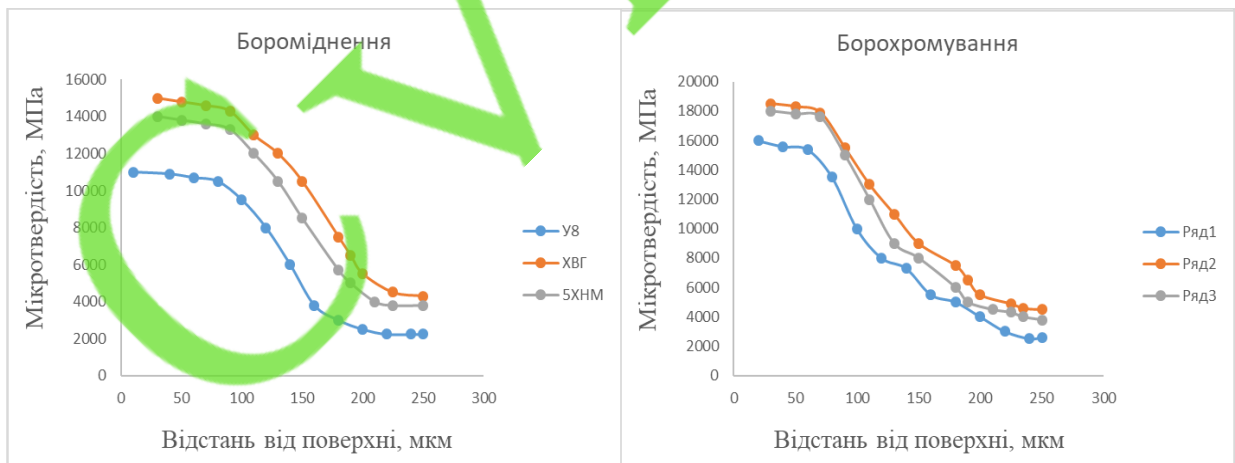
в

Рисунок 3.5 – Мікроструктура боридних шарів після борованадієміднення: а – сталь У8; б – сталь ХВГ; в – сталь 5ХНМ



а

б



в

г

Рисунок 3.6 – Мікротвердість боридних шарів: а – після борованадіювання; б – після борованадієміднення; в – після бороміднення; г – після борохромуння

Але автори роботи [6] відмічають, що покриття після бороміднення, незважаючи на зменшення твердості, мають досить високу зносостійкість, ймовірно, через вплив міді, яка виступає в якості сухого “мастила” при терті матеріалу.

Після борованадіювання покриття має дещо більшу мікротвердість ніж після бороміднення приблизно ~ 13,5 ГПа для сталі У8; ~ 16 ГПа для ХВГ та ~ 15 ГПа для 5ХНМ, а після борованадієміднення покриття має найвищу твердість: ~ 14,6 ГПа для сталі У8; ~ 18,9 ГПа для ХВГ та ~ 16 ГПа для 5ХНМ.

Мікротвердість шарів залежить від типу комплексного покриття та хімічного складу сталі. Покриття на ХВГ мають найвищу мікротвердість серед досліджуваних сталей. При борируванні сталей, що містять 0,8-1,2 % вуглецю в дифузійному шарі утворюється боридний цементит [4].

Крім того, сталь ХВГ легована карбідотвірними елементами, тому можливо легування бором карбідів легувальних елементів, що призведе до збільшення твердості шару. У сталі 5ХНМ нижча кількість вуглецю, але присутні легувальні елементи хром та нікель які підвищують твердість та міцність сталі, а хром може легувати цементит тим самим підвищувати твердість покриття.

3.2 Аналіз фазового складу покриттів

Для встановлення взаємозв'язку між фазовим складом і структурою, отриманих дифузійних шарів після борохромування та бороміднення, зразки піддавалися рентгеноструктурному аналізу. Характерні ділянки дифрактограми, показані на рис. 3.7 та рис. 3.8.

На рис. 3.7 наведені дифрактограми, отримані на сталях ХВГ і У8 при боромідненні. На сталі ХВГ рентгенографічно фіксується тільки наявність бориду Fe_2B з періодами решітки $a = 5,109 \pm 2 \text{ \AA}$, $c = 4,249 \pm 2 \text{ \AA}$. Фазоутворення боридного покриття на сталі У8 йде за складнішим механізмом.

Основний фазою (72 % випр.) в ньому є Fe_2B з періодами $a = 5,111 \pm 3 \text{ \AA}$, $c = 4,248 \pm 3 \text{ \AA}$. Концентрація міді в покритті з урахуванням значення інтенсивності її дифракційних ліній була приблизно оцінена у 3 %. Параметри решітки фериту, об'ємна частка якого становить 25 %, оцінені приблизно $a = 2,858 \pm 9 \text{ \AA}$.

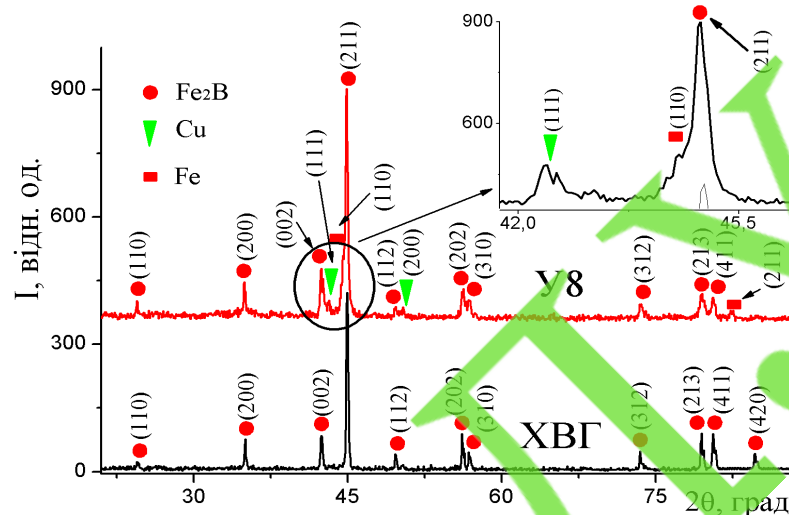


Рисунок 3.7 – Дифрактограми зняті з поверхні сталей У8 та ХВГ після бороміднення

Дифрактограми (рис. 3.8) зняті з поверхні зразків сталі ХВГ після борохромовування вказують на наявність дифракційних максимумів наступних фаз (табл. 3.1):

- FeB (28% випр.) $a = 5,505 \pm 7 \text{ \AA}$, $b = 2,949 \pm 7 \text{ \AA}$, $c = 4,063 \pm 7 \text{ \AA}$;
- Fe_2B (33% випр.), $a = 5,117 \pm 5 \text{ \AA}$, $c = 4,227 \pm 5 \text{ \AA}$; Fe (39% випр.) $a = 2,866 \pm 8 \text{ \AA}$.

Борохромовування сталі У8 призводить до утворення на її поверхні бориду Fe_2B $a = 5,131 \pm 8$, $c = 4,233 \pm 8$, корунду $a = 4,767 \pm 8$, $c = 12,991 \pm 8$, а також дифракційний максимум фериту (110) накладається дифракційним піком (211) від Fe_2B .

Застосування одночасного насичення сталі бором та хромом, бором та міддю вуглецевої сталі У8 та легованої ХВГ призводить до зміни фазового

складу, кількісного співвідношення боридних фаз в поверхневих шарах, зміни періодів кристалічної ґратки (табл. 3.1).

Як показали дослідження, при класичному борируванні утворюється борид FeB, якій забезпечує підвищення твердості та крихкості шару. При комплексному борируванні утворюється значна кількість Fe₂B, який характеризується меншою крихкістю за FeB.

Таблиця 3.1

Параметри кристалічних ґраток фаз та кількісний фазовий аналіз після борування, бороміднення та борохромування

Процес насичення		Фаза	Параметри кристалічної ґратки, Å	Вміст фаз, %
Класичне борирування сталі У10		FeB	a = 4,056 c = 2,945	100
Бороміднення	У8	Fe ₂ B	a = 5,111 ± 3 Å c = 4,248 ± 3 Å	72
		Cu	-	3
		α-Fe	a = 2,858 ± 9 Å	25
	ХВГ	Fe ₂ B	a = 5,109 ± 2 Å c = 4,249 ± 2 Å	100
Борохромування	ХВГ	FeB	a = 5,505 ± 7 Å b = 2,949 ± 7 Å c = 4,063 ± 7 Å	28
		Fe ₂ B	a = 5,117 ± 5 Å c = 4,227 ± 5 Å	33
		Fe	a = 2,866 ± 8 Å	39
	У8	Fe ₂ B	a = 5,131 ± 8 Å c = 4,233 ± 8 Å	100

Утворення бориду Fe₂B пояснює зниження твердості поверхнього шару після борохромування і бороміднення (рис. 3.1 та рис. 3.2). Крім того, в поверхньому шарі сталі У8 зовсім не утворюється бориду FeB, що обумовлює

отримання значно нижчих показників твердості, порівняно зі сталлю ХВГ після досліджуваних процесів ХТО.

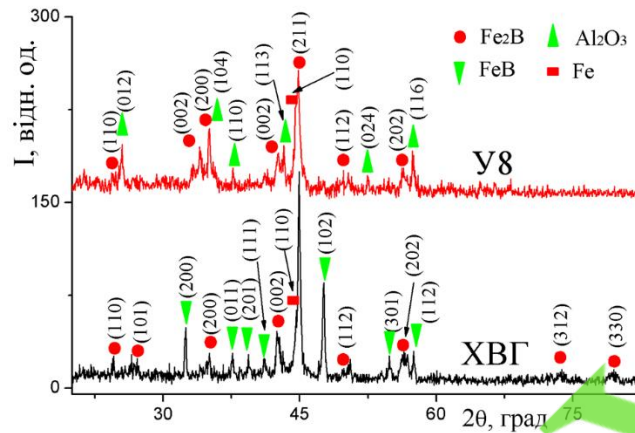


Рисунок 3.8 – Дифрактограми зняті з поверхні сталей У8 та ХВГ після борохромовання

3.3 Дослідження зносостійкості одержаних покриттів

В роботі проведені дослідження абразивної зносостійкості комплексних боридних покриттів. Встановлено, що бор-мідні, бор-ванадієві та бор-ванадій-мідні дифузійні покриття, мають кращі триботехнічні характеристики порівняно з класичним борируванням (рис 3.9, а). Відносна зносостійкість боридних покриттів знаходиться у діапазоні від 2,58 до 2,9.

Так, відносна зносостійкість бор-мідних покриттів $K_{Cu} = 5,46$; $K_{Cu} = 5,96$; $K_{Cu} = 5,75$ на сталі У8, ХВГ та 5ХНМ відповідно, бор-хромових – $K_{Cr} = 3,65$ і $K_{Cr} = 3,75$ для У8 і ХВГ відповідно. Покриття отримані при борованадіюванні (рис. 3.9, в) мають дещо нижчу зносостійкість за бор-мідні, але майже у 1,5 рази вищі за боридні покриття. Так відносна зносостійкість борванадієвих покриттів $K_v = 4,21$; $K_v = 4,81$; $K_v = 4,60$ на сталях У8, ХВГ та 5ХНМ відповідно.

Комплексні покриття бор-ванадій-мідь володіють найвищою мікротвердістю, але поступаються зносостійкістю бор-мідним та борванадієвим покриттям. Вони мають відносну зносостійкість $K_{Cu-v} = 4,01$; $K_{Cu-v} = 4,34$; $K_{Cu-v} = 4,28$ на сталі У8, ХВГ та 5ХНМ відповідно.

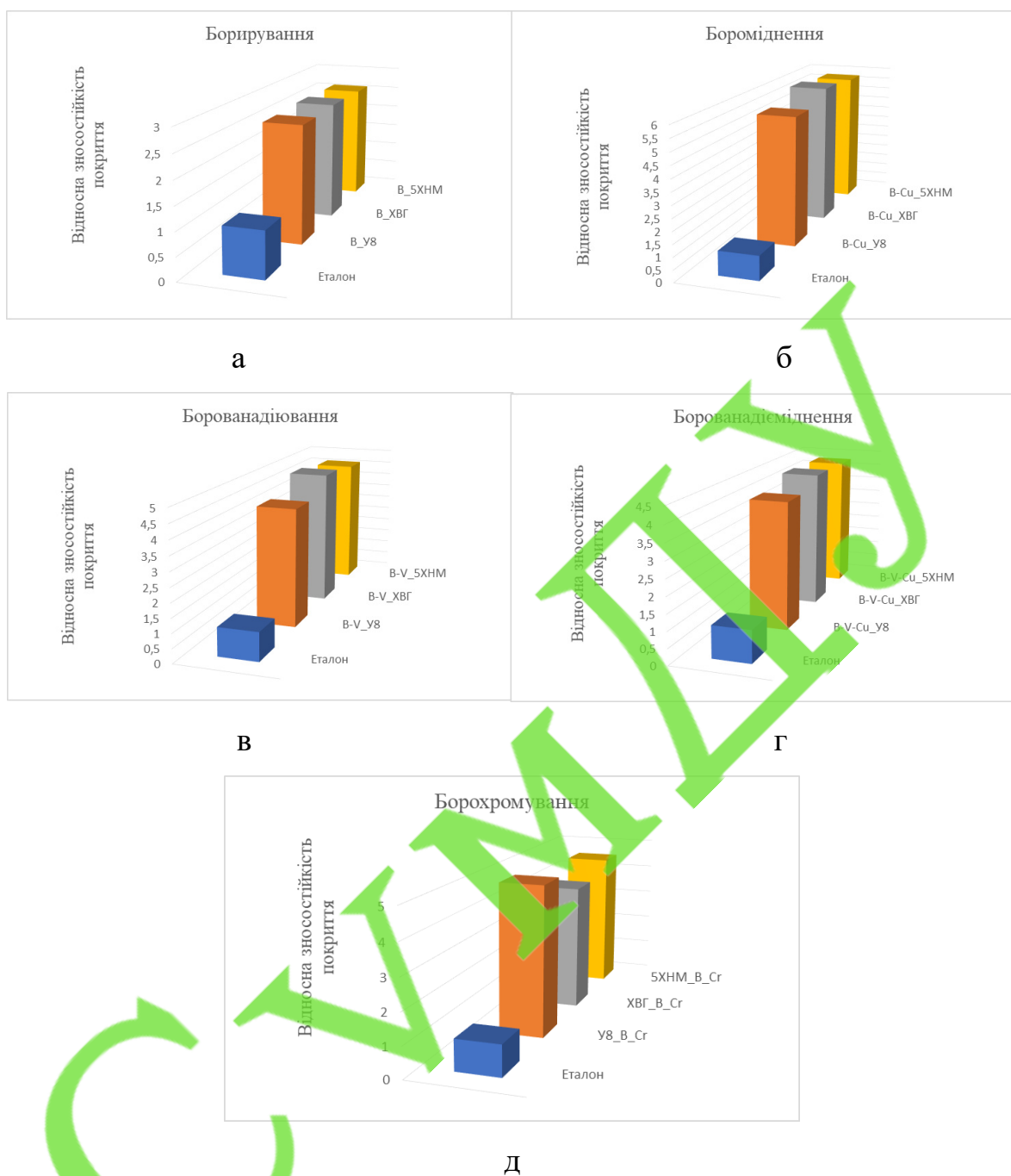


Рисунок 3.9 – Відносна зносостійкість комплексних боридних покриттів:
 а – після борирування; б – після бороміднення; в – після борованадіювання; г –
 після борованадієміднення; д - борохромування (на сталях У8, ХВГ та 5ХНМ;
 за еталон взята сталь 45 (відпалена))

Отже стійкість до абразивного зносу сталей У8 і ХВГ та 5ХНМ після бороміднення та борованадіювання збільшується у 1,3-1,5 рази, порівняно з покриттями, отриманими за класичною технологією. Після борованадієміднення покриття займають проміжне місце між боромідненням та класичним борируванням.

Хоча по замірам мікротвердості бор-мідні та бор-ванадієві займають проміжне положення між боридними та борванадіємідними покриттями. Можна припустити, що у бор-мідних покриттях мідь виступає у якості твердого мастила. Бор-ванадієві покриття мають високу зносостійкість, пов'язану із наявністю карбідівванадію, що ймовірно утворюються під час насичення.

Тож зносостійкість комплексних боридних покриттів залежить від марки сталі та хімічного складу насичувальної суміші: сталь У8 має найнижчі показники зносостійкості, сталь ХВГ – найвищі.

Виходячи із експериментальних даних можна зробити висновок, що зносостійкість покриття визначається фазовим складом отриманих шарів, товщиною шару та його твердістю.

ВИСНОВКИ

1. Мікроструктурний аналіз отриманих покриттів показав, що комплексні боридні покриття подібно до класичних боридних покриттів мають голчасту структуру з чітко вираженою межею поділу покриття-основа. Після борохромування боридні голки мають дещо заокруглений характер, ніж після борирування та бороміднення. Бороміднення сприяє зменшенню характерної для боридних покриттів закритої пористості.

2. Після борованадіювання товщина дифузійних шарів зменшується майже в два рази порівняно із класичною технологією борирування і складає 80-90 мкм для сталі У8, близько 100 мкм для сталі ХВГ та 100-110 мкм для 5ХНМ. Покриття володіють меншою пористістю ніж класичне покриття.

3. Після борованадієміднення товщина покриття дещо зростає порівняно із борованадіюванням, що пов'язано з додаванням міді до складу шихти, і складає 50-70 мкм для сталі У8, 50-70 мкм для сталі ХВГ та 60-85 мкм для 5ХНМ.

4. ДюрOMETричні дослідження показали, що отримані шари після класичної технології насичення мають близько 20 ГПа, після борміднення – ~ 10,9 ГПа для сталі У8; ~ 15 ГПа для ХВГ та ~ 14 ГПа для 5ХНМ, що дещо нижче твердості борированого шару при класичній технології насичення. Після борованадіювання покриття має невелике підвищення мікротвердості ніж після борміднення ~ 13,5 ГПа для сталі У8; ~ 16 ГПа для ХВГ та ~ 15 ГПа для 5ХНМ, а після борованадієміднення покриття мають найвищу твердість ~ 14,6 ГПа для сталі У8; ~ 18,9 ГПа для ХВГ та ~ 16 ГПа для 5ХНМ, що отримані шари після борохромування мають мікротвердість поверхні 16–19 ГПа.

5. Зносостійкість комплексних боридних покриттів залежить від марки сталі та хімічного складу насичувальної суміші: сталь У8 має найнижчі показники зносостійкості, сталь ХВГ – найвищі. Виходячи із експериментальних даних можна зробити висновок, що зносостійкість покриття визначається фазовим складом отриманих шарів, товщиною шару та його твердістю.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

До кожної роботи потрібно розраховувати економічний ефект, туди відносять роботи які направлені на створення нових технологічних процесів термічної обробки, нових механізмів, коштів на автоматизацію, обладнання, покращення якості продукції, а також дослідження в сфері металознавстві інших наук, які містять теоретичний характер, но можуть бути використані для вдосконалення матеріального виробництва.

Оцінка економічної ефективності результатів науково-дослідницької магістерської роботи, яка виконується для виявлення потреби для впровадження у виробництво. Економічний ефект визначають за різновидністю приведених затрат вхідного (базового) рівня і рівня, досягнутого після підрахунку затрат на виробництво. В якості бази для порівняння приймають: при врахуванні економічної ефективності науково-дослідної роботи, в результаті якої створюється новий, раніше ніде не застосований технологічний процес, або нова техніка (технологія), запроектованої або якщо вона знаходиться в стадії завершеного наукового дослідження у світі. При отриманні економічної вигоди, направленої на виготовлення або вдосконалення техніки та технологій [29].

1. Вартість матеріалу для виготовлення виробу:

$$C_m = Q \times C_m - q \times C_0, \quad (4,1)$$

Де: C_x – вартість для виготовлення виробу (x – це індекс процесу);

Q – норма витрати матеріалу (маса заготовки), кг;

C_m – ціна матеріалу (порошкової суміші), грн. (карбід бору: 210 грн/кг; порошок міді М1: 300 грн/кг; порошок ферованадію 450 грн/кг; ферохром: 72 грн/кг; корунд 50 грн/кг; фторопласт-4: 300 грн/кг; хлорид амонію: 60 грн/кг; графіт 60 грн/кг) ціна на матеріал вказана в таблиці 4.1;

q – вага реалізованих відходів, кг;

Ц_о - ціна відходів, грн.; приймаємо 20% від ціни матеріалу.

Для проведення експерименту використовується 250 грам суміші. Після проведення процесу можна використовувати близько 80% (це приблизно 0,2 кг) суміші для подальших процесів.

Базовий варіант:

$$C_B = 0,25 \cdot 178,5 - 0,2 \cdot 35,7 = 35,49 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.1

Вартість матеріалу

Назва	Борирування (Б)	Борохромовання (Бх)	Бороміднення (Бм)	Борванадіювання (Бв)	Борванадієміднення (Бвм)	Всього використаного матеріалу, кг	Загальна вартість потрібного матеріалу, грн
V ₄ C	0,8 кг	0,84 кг	0,79 кг	0,79 кг	0,69 кг	3,91	821,1
Графіт				0,05 кг	0,05 кг	0,1	6
Al ₂ O ₃	0,15 кг	0,1 кг	0,1 кг	0,1 кг	0,1 кг	0,55	27,5
Fe-Cr		0,05 кг				0,05	3,6
Fe-V				0,05 кг	0,05 кг	0,1	45
Фторопласт-4		0,01 кг	0,01 кг	0,01 кг	0,01 кг	0,04	12
NH ₄ Cl	0,05 кг					0,05	3
Cu			0,1 кг		0,1 кг	0,2	60
Вартість 1 кг суміші, грн	178,5	188	203,9	199,4	208,4	-	-

Проектовані варіанти:

$$C_{Бх} = 0,25 \cdot 188 - 0,2 \cdot 37,6 = 39,48 \text{ (грн);}$$

$$C_{Бм} = 0,25 \cdot 203,9 - 0,2 \cdot 40,78 = 42,82 \text{ (грн);}$$

$$C_{Бв} = 0,25 \cdot 199,4 - 0,2 \cdot 38,88 = 42,07 \text{ (грн);}$$

$$C_{\text{БВМ}} = 0,25 \cdot 208,4 - 0,2 \cdot 41,68 = 43,76 \text{ (грн)}.$$

Загальна вартість порошкових сумішей для боридних покриттів, для проведення експерименту:

$$C_3 = C_{\text{Б}} + C_{\text{БМ}} + C_{\text{БХ}} + C_{\text{БВ}} + C_{\text{БВМ}} \quad (4,2)$$

$$C_3 = 35,49 + 39,48 + 42,82 + 42,07 + 43,76 = 203,62 \text{ грн}$$

Вартість сталей для проведення експерименту за даними сайту prom.ua: У8 – 40 грн/кг, ХВГ – 73 грн/кг, 5ХНМ – 75,5 грн/кг. Вага одного зразку близько 150 грам. Звідси виходить що вартість одного зразку дорівнює: для У8 – 6 грн, ХВГ – 10,95 грн, 5ХНМ – 11,33 грн. Для експерименту застосовують по 10 зразків виготовлених із кожного матеріалу: для У8 – 60 грн, ХВГ – 109,5 грн, 5ХНМ – 113,3 грн. Тому виходячи із вище перерахованого загальна вартість для матеріалів застосованих в експерименті $C_{\text{М}} = 282,8$ грн.

Сумарна вартість матеріалів для проведення експерименту:

$$C_{\text{сум}} = C_3 + C_{\text{М}} \quad (4,3)$$

$$C_{\text{сум}} = 203,62 + 282,8 = 486,42 \text{ грн}$$

2. Основна і додаткова зарплата виробничого робітника з відрахуваннями на соціальне страхування і в інші фонди (за виконання експерименту):

$$Z_p = C_{\text{Г}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (t_{\text{шт}} / 60) \cdot K_{\text{МН}} \cdot n \quad (4,4)$$

де $C_{\text{Г}}$ - годинна тарифна ставка відповідного розряду, приймаємо IV розряд: ставка за базовим варіантом 62,5 грн/год, ставка по проектувальному 62,5 грн/год;

K_1 - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату; приймаємо: базовий варіант $K_1 = 1,5$ проектувальний також візьмемо 1,5;

K_2 - коефіцієнт, що враховує багатостатне обслуговування він приймається $K_2 = 1,375$;

$t_{\text{шт}}$ - штучний час на операцію, хв;

$K_{\text{МН}}$ - коефіцієнт, що враховує обслуговування декількома одиницями обладнання, приймається $K_{\text{МН}} = 1$;

n - кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Проектований технологічний процес:

$$З_p = 62,5 \cdot 1,5 \cdot 1,375 \cdot (240/60) \cdot 1 \cdot 2 = 1031,25 \text{ грн}$$

3. Амортизаційні відрахування по обладнанню, віднесені на дану операцію:

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{\text{год}} \cdot 100}, \quad (4,5)$$

Де: S_0 – вартість одиниці обладнання, грн (електрична піч має вартість 30 000 грн, мікроскоп 5 000, мікротвердомір 10 000 грн, універсальна машина для тертя 10 000 грн, шліфувально-полірувальний станок 5 000 грн);

K – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж обладнання; приймаємо: базовий варіант $K = 1,15$;

a – норма амортизаційних відрахувань (10% від вартості обладнання);

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт;

$N_{\text{год}}$ - річна програма для проведення експерименту в нашому випадку це 5 експериментальних досліджень які ми проведемо за місяць (але кожен частину експерименту можна проводити за день), тому за рік можна провести близько 3600 досліджень подібного роду.

Проектований технологічний процес:

$$A_0 = \frac{60000 \cdot 1,15 \cdot 6000 \cdot 6}{3600 \cdot 100} = 6900 \text{ грн.}$$

4. Витрати на ремонт обладнання приймаємо укрупнено пропорційними до величини амортизаційних відрахувань:

$$P = A_0 \cdot K, \quad (4,6)$$

де: K – коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрат на ремонт від величини амортизаційних відрахувань, приймаємо: базовий варіант 200%.

Проектований експериментально-технологічний процес:

$$P = 6900 \cdot 2 = 13800 \text{ грн.}$$

5. Витрати на оснащення, що припадають на проведення експерименту:

$$B_0 = \frac{(S_0 + S_p)}{N_{\text{рік}}}, \quad (4,7)$$

де S_0 - вартість оснащення, грн.; приймаємо 50% від вартості основного обладнання;

S_P - ремонт оснастки, грн.; приймаємо 1% від вартості основного обладнання;

$N_{\text{год}}$ - річна програма експериментів.

Проектований процес:

$$B_0 = \frac{(30000 \cdot 600)}{3600} = 5000 \text{ грн.}$$

6. Витрати на силову електроенергію по даній операції.

$$E = (K_1 \cdot N_y \cdot (t_{\text{шт}} - t_{\text{маш}}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{\text{маш}}) \cdot (S_E / 60), \quad (4,8)$$

де: N_y – сумарна встановлена потужність електродвигунів одиниць обладнання, кВт;

$t_{\text{маш}}$ – машинний час, хв;

K_1 – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при роботі обладнання приймається $K_1 = 0,25$;

K_2 – коефіцієнт використання встановленої потужності обладнання в процесі термообробки; приймаємо базовий варіант 0,8;

S_E – вартість одного кВт·год електроенергії, приймається $S_E = 1,68$ грн.

Проектований процес:

$$E = (0,25 \cdot 38 \cdot (240 - 80) + 0,8 \cdot 38 \cdot 80) \cdot (1,68 / 60) = 110,66 \text{ грн.}$$

7. Витрати на допоміжні матеріали, віднесені на експеримент збільшено приймаємо:

$$B_M = \frac{M \cdot n}{N_{\text{год}}}, \quad (4,9)$$

де: M – річні витрати на допоміжні матеріали; приймається 14850 грн/рік на одиницю устаткування;

n - кількість одиниць обладнання, шт;

$N_{\text{год}}$ - річна програма деталей, шт.

Проектований технологічний процес:

$$B_M = \frac{14850 \cdot 6}{3600} = 24,75.$$

8. Витрати на утримання виробничої площі, віднесені на операцію:

$$P_n = \frac{S_{пл} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{год}} \text{ (грн.)}, \quad (4,10)$$

де: $S_{пл}$ - площа, безпосередньо займана одиницею устаткування, м²;

K - коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди беремо за 2;

n - кількість одиниць обладнання, 6 шт;

P - річна норма витрат з утримання 1м² виробничої площі; приймаємо 800 грн.

Таблиця 4.2

Технологічна собівартість експерименту, грн

Назва елементів витрат	Проектований варіант, грн
Вартість матеріалу для експерименту ($C_{сум}$)	486,42
Основна і додаткова зарплата (Z_p)	1031,25
Амортизаційні відрахування (A_0)	6900
Витрати на ремонт обладнання (P)	13800
Витрати на оснастку (B_0)	5000
Витрати на електроенергію за даною операцією (E)	110,66
Витрати на допоміжні матеріали (B_M)	24,75
Витрати на утримання виробничої ділянки (P_n)	12,27
Всього ($C_{пр}$)	27365,35

Проектований технологічний процес:

$$P_n = \frac{4,6 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 800}{3600} = 12,27$$

9. Загальновиробничі витрати:

$$C_{зв} = (Z_p / K_1 / K_2) \cdot 1,2 \quad (4,11)$$

де: K_1 - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо: базовий варіант $K_1 = 1,5$);

K_2 - коефіцієнт, що враховує багатоверстатне обслуговування (приймається $K_2 = 1,375$).

Проектований технологічний процес:

$$C_{Зв} = (1031,25/1,5 / 1,375) * 1,2 = 600 \text{ грн.}$$

10. Поза виробничі витрати:

$$C_v = C_{пр} \cdot 0,03 \quad (4,12)$$

Проектований технологічний процес:

$$C_v = 27365,35 \cdot 0,03 = 820,96 \text{ грн.}$$

11. Повна собівартість:

$$C_{п} = C_v + C_{пр} \quad (4,13)$$

Проектований технологічний процес:

$$C_{п} = 820,96 + 27365,35 = 28186,31 \text{ грн.}$$

12. Капітальні витрати на обладнання:

$$K_{об} = K \cdot S_{об} \cdot n, \quad (4,14)$$

де $S_{об}$ - вартість обладнання, грн;

K - коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж, приймаємо: базовий варіант $K = 1,15$;

n - кількість одиниць обладнання, шт.

$$K_{об} = 1,15 \cdot 60000 \cdot 6 = 414000 \text{ грн.}$$

13. Капітальні витрати на будівлю:

$$K_{БД} = S_{пл} \cdot K \cdot n \cdot h \cdot C, \quad (4,15)$$

де: $S_{пл}$ - виробнича площа, безпосередньо займана одиницею устаткування, m^2 ;

K - коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди;

n - кількість одиниць обладнання на даній операції, 6 шт. ;

h - висота будівлі, м (від підлоги стелі; приймаємо 3м);

C - вартість $1m^3$ будівлі, приймаємо: пропонуванний варіант 1740 грн/ m^3

Проектований технологічний процес:

$$K_{\text{БД}} = 10 \cdot 2,5 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 1740 = 783000 \text{ грн};$$

ВИСНОВКИ

Таким чином, у ході виконання економічної частини магістерської роботи було розраховано:

- вартість матеріалу для проведення експерименту;
- основна і допоміжна заробітні плати, при проведенні експерименту;
- амортизаційні відрахування;
- витрати на ремонт обладнання;
- витрати на оснащення обладнання;
- витрати на електричну енергію для проведення досліджень;
- витрати на допоміжні матеріали;
- витрати на утримання ділянки для досліджень;
- технологічну собівартість експерименту;
- загальновиробничі витрати;
- поза виробничі витрати;
- повну собівартість;
- капітальні витрати на обладнання та будівлю.

Проведений розрахунок є приблизним, так як не враховує втрат не випущеної річної продукції за час не планованих ремонтів, а також додаткової ціни, необхідної для підготування і проведення ремонтно-відновлюваних робіт.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Основою будь-якого виробництва є попередньо розроблений, розрахований і практично перевірений в умовах дослідницького виробництва технологічний процес.

Мета технологічного процесу полягає в тому, щоб забезпечити послідовну зміну властивостей сировини, напівфабрикатів, допоміжних матеріалів для одержання нового продукту із заздалегідь заданими властивостями й певною якістю.

Будь-який технологічний процес визначається різними параметрами, що забезпечують його нормальний перебіг, яких необхідно дотримуватись.

Борирування проводять у термічних цехах. Але основними етапами при даних технологіях є підготовка шихти та домішок, завантаження їх до ящика для ХТО, і завантаження ящика до термічної печі.

5.1 Загальна характеристика термічного цеху

Санітарно-гігієнічні умови праці в термічних цехах характеризуються наявністю в повітрі виробничого приміщення шкідливих токсичних речовин.

Виділення токсичних газів [31]:

- при спалюванні 1 г природного газу та 1 г мазуту виділяється 2,2-5,2 г CO_2 ;
- при спалюванні 1 м³ природного газу утворюється NO - 0,21 кг, NO₂ - 0,21 кг;
- при спалюванні 1 кг мазуту CO - 58 г, NO - 0,33 кг, NO₂ - 0,33 кг, CO₂ - 0,714 кг.

У цехах потрапляє до 10% загальної кількості шкідливих речовин, що виділяються при згоранні палива.

Термічні цехи характеризуються значними виділеннями теплоти, переданої випромінюванням і конвекцією. Інтенсивність теплового потоку у нагрівальних печей, становить 1,4-2,1 кВт / м², у місцях складування заготовок, пультів управління і кабін кранівників - 1-1,95 кВт / м², в місцях складування виробів після кування - 0,5 1 кВт / м²; на робочих місцях при нагріванні металу на високочастотних установках - 0,24-0,3 кВт / м²; виділення теплоти від електropечей - до 2,2 МДж / год на 1 кВт потужності печі.

Небезпека ураження електричним струмом виникає при використанні печей опору для нагріву заготовок.

Існує небезпека виникнення пожеж під час пуску газових нагрівальних печей в результаті неправильного запалення, при раптовій зупинці дуття, просочення газу в виробниче приміщення, а також при підсосі повітря всередину газових пристроїв може статися вибух. Щоб уникнути вибуху газопроводи виготовляють з суцільнотягнутих труб, що отримують зварюванням, при цьому не використовують різьбові і фланцеві з'єднання.

Цехову газопровідну мережу будуть обладнати перекривають і пристроями, що вимикають, регуляторами тиску і продувний свічками [31].

У майстерні по приготуванні технологічних мастильних матеріалів, де використовують горючі матеріали (гас, масла, спирти та ін.), Щоб уникнути вибуху встановлюють вибухобезпечне електрообладнання та сильну - витяжну вентиляцію, щоб не допустити утворення в повітрі вибухонебезпечних концентрацій.

Зазвичай причинами травмування робітників, що працюють на верстатах є [32]:

- поломка задньої або передньої бабки, або інших складових частин верстата в недбалім поводженні;

- вживання неправильних прийомів роботи при витягуванні заготовки, з патрона;
- неправильні прийоми роботи на підйомний транспортних механізмах, відсутність безпечних проходів, проїздів і т. д.;
- невідповідність одягу робочого нормам безпеки.

Для проведення технологічного процесу на ділянці передбачено обладнання: токарні верстати, камерні печі, гартівні баки з машинним маслом і водою.

5.2 Аналіз потенційних небезпек на виробництві

Згідно до ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація». Існують такі фізичні небезпеки та шкідливі виробничі фактори:

- підвищена пильність та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхні обладнання і матеріалів;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- небезпека контакту з електрикою;
- підвищена яскравість;
- небезпека кромки, заусенець, шорсткість на поверхні заготовки, інструментів та обладнання.

5.2.1 Аналіз потенційних небезпек у термічному відділенні

Потенційними небезпеками у термічному відділенні можуть бути [31]:

- великий рівень електромагнітного випромінювання;
- велика або знижена рухливість повітря;
- великий рівень шуму на робочому місці;
- велика курна повітря в робочій зоні.

Заходи щодо зниження небезпечних і шкідливих факторів:

- приміщення ділянки, обладнання та комунікації мають бути оснащені контрольно-вимірювальними приладами, згідно з ГОСТ 12.3.004-75;
- в місцях можливої локалізації дії небезпечних і шкідливих факторів повинні бути встановлені швидкодіюче ізолююче обладнання, відповідно ГОСТ 12.3.004-75;
- приміщення термічної ділянки повинно бути обладнане витяжною вентиляцією, відповідно ГОСТ 12.3.00-75;
- для запобігання пожежо- та вибухонебезпечної ситуації при роботі з гартівними маслами слід правильно вибирати марку масла і режим роботи, відповідно ГОСТ 12.3.00.-75;
- при роботі з установками ТВЧ необхідно застосовувати заходи щодо електробезпеки і захисту від довгохвильових випромінювань, відповідно ГОСТ 12.3.004-75.

5.3 Заходи для забезпечення безпеки праці

Згідно ГОСТ 12.2.005-91 [32]:

1. Виробниче обладнання повинно забезпечувати безпеку працюючих при монтажі (демонтажі), введення в експлуатацію та експлуатації як в разі автономного використання, так я в складі технологічних комплексів при дотриманні вимог (умов, правил), передбачених експлуатаційною документацією.

Примітка. Експлуатація включає в загальному випадку використання за призначенням, технічне обслуговування та ремонт, транспортування, збереження.

2. Безпека конструкції виробничого обладнання забезпечується ГОСТ 12.2.062-81

- вибором принципів дії і конструктивних рішень, джерел енергії та характеристик енергоносіїв, параметрів робочих процесів, системи управління і її елементів;

- мінімізацією споживаної і накопичуваної енергії при функціонуванні обладнання;

- вибором комплектуючих виробів і матеріалів для виготовлення конструкцій, а також вживаних при експлуатації;

- вибором технологічних процесів виготовлення;

- вживанням вбудованих в конструкцію засобів захисту працюючих, а також засобів інформації, застережних про виникнення небезпечних (у тому числі пожежо- та вибухонебезпечних ситуацій надійністю конструкції і її елементів (в тому числі дублюванням

- окремих систем управління, засобів захисту та інформації, відмови яких можуть привести до створення небезпечних ситуацій);

- застосування засобів механізації, автоматизації (в тому числі автоматичного регулювання параметрів робочих процесів) дистанційного управління і контролю;

- можливістю використання засобів захисту, що не входять до конструкцію;

- виконанням ергономічних вимог;

- обмеження фізичних і нервно-психічних навантажень на працюючих.

3. Вимоги безпеки до виробничого обладнання конкретних груп, видів, моделей встановлюються на основі вимог даного стандарту з урахуванням: ГОСТ 12.2.003-91

- особливостей призначення, виконання та умов експлуатації;

- результатів випробувань, а також аналізу небезпечних ситуацій (в тому числі пожежовибухонебезпечних), що мали місце при експлуатації аналогічного обладнання;

- вимог стандартів, що встановлюють допустимі значення небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, а також аналізу засобів і методів забезпечення безпеки на кращих світових аналогах;
- вимог безпеки, встановлених міжнародними та регіональними стандартами та іншими документами до аналогічних груп, видів, моделей виробничого обладнання;
- прогнозу можливого виникнення небезпечних ситуацій на знову створюваному або модернізується обладнанні.

Згідно ГОСТ 12.1.005 [32]:

1. Конструкція робочого місця, його розміри і взаємні розташовують елементів (органів управління, засобів відображення інформації, допоміжного обладнання та ін.) повинні забезпечувати безпеку при використанні виробничого обладнання за призначенням, технічне обслуговування, ремонт і прибирання.

2. Необхідність наявності на робочих місцях засобів пожежогасіння та інших засобів, що використовуються в аварійних ситуаціях, повинна бути встановлена в стандартах, технічних умовах і експлуатаційній документації на виробниче обладнання конкретних груп, видів, моделей (мазкий).

Таблиця 5.1

Мікроклімат в термічному ділянці

(згідно до ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.005-88 50 та ГОСТ 3.36.042-99)

Параметр	Фактичні значення	Нормативні значення
1. Температура °С Холодний час року Теплий час року	16-18 19-21	18-20 21-23
2. Відносна вологість % .	74	75
3. Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,3
4. Температура обладнання, °С	65	

Вимоги до системи протипожежного захисту (згідно ГОСТ 12.1.004-85) [31]:

1. Протипожежний захист має забезпечуватися: вживанням засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки; вживанням автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння; вживанням основних будівельних конструкцій об'єктів з регламентованими межами вогнестійкості та межами поширення вогню; вживанням просочення конструкцій об'єктів антипиринами і нанесенням на їх поверхні вогнезахисних фарб (складів); пристроями, що забезпечують обмеження поширення пожежі; організацією своєчасної евакуації людей; вживанням засобів колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі; вживанням систем протидимового захисту.

2. Вогнестійкість будівель і споруд повинна бути такою, щоб будівельні конструкції зберігали свої несучі і захищають функції при пожежі протягом часу, необхідного для забезпечення безпеки людей і гасіння пожежі пожежними підрозділами.

3. Обмеження поширення пожежі за межі вогнища повинно забезпечуватися:

- пристроєм протипожежних перешкод;
- встановленням гранично допустимих площ протипожежних відсіків і секцій, обмеженням поверховості;
- пристроєм аварійного відключення і перемикання установок та комунікацій;
- вживанням засобів, що запобігають або обмежують розлив і розтікання рідин під час пожежі; вживанням вогне-перешкоджаючих пристроїв в устаткуванні.

4. Для кожного виду пожежної техніки повинні бути певними:

- кількість, швидкодія і продуктивність установок пожежогасіння;

- допустимі вогнегасні речовини (в тому числі з позиції їх сумісності з речовинами, матеріалами, що горять);
- джерела і засоби подавання води для пожежогасіння;
- нормативний (розрахунковий) запас спеціальних вогнегасних речовин (порошкових газових, пінних, комбінованих);
- необхідна швидкість нарощування подачі вогнегасних речовин допомогою транспортних засобів оперативних пожежних служб;
- порядок збереження речовин і матеріалів, гасіння яких неприпустимо одними і тими ж засобами, в залежності від їх фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей;
- основні види, розміщення і обслуговування пожежної техніки - по ГОСТ 12.4.009-83.

Вживані види пожежної техніки повинні забезпечувати ефективне гасіння пожежі (загоряння) і бути безпечними для людей.

5. Кожен об'єкт повинен мати таке об'ємно-планувальне і технічне виконання, щоб евакуація людей з нього була завершена до настання гранично допустимих значень небезпечних факторів пожежі, а при недоцільності евакуації був забезпечений захист людей в об'єкті.

Для забезпечення евакуації необхідно:

- встановити кількість, розміри і відповідне конструктивне виконання евакуаційних шляхів, виходів;
- забезпечити можливість безперешкодного руху людей по евакуаційним шляхам;
- організувати при необхідності управління, рухом людей по евакуаційним шляхам (світлові покажчики, звукове і мовне повідомлення і т. п.).

6. Засоби колективного та індивідуального захисту повинні забезпечувати безпеку людей на протязі всього часу дії небезпечних факторів пожежі. Засоби індивідуального захисту слід застосовувати також для пожежників, що беруть

участь в гасінні пожежі. Колективний захист слід забезпечувати за допомогою пожеаробезпечних притулків або інших конструктивних рішень.

7. На кожному об'єкті народного господарства має бути забезпечено своєчасне повідомлення людей і (або) сигналізацію про пожежу в його початковій стадії технічними або організаційними засобами. Організаційно-технічні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки. Організаційно-технічні заходи повинні включати:

- організацію пожежної охорони (в установленому порядку) відповідного виду (професійної, добровільної і т. п.), чисельності та технічної оснащеності;
- паспортизацію речовин, матеріалів, виробів, технологічних процесів і об'єктів в частині забезпечення пожежної безпеки;
- широке залучення громадськості до питань забезпечення пожежної безпеки;
- організацію навчання робітників, що служать, колгоспників, що навчаються.

5.4 Екологізація виробництва

Велика кількість енергії, споживаної нагрівальними термічними установками і пристроями, перетворюється в теплоту і розсіюється в біосфері у вигляді втрат або при охолодженні нагрітих виробів. Для зменшення непотрібного розсіювання теплоти необхідно поліпшити теплоізоляцію і скоротити всі види втрат, використовувати для технологічних цілей або побутових потреб теплоту газів і охолоджуючої води, що відходять.

Найпоширенішими і небезпечними забруднювачами навколишнього середовища є [31]:

- Оксид вуглецю (CO), або чадний газ, не має кольору і запаху, виходить в результаті неповного того, що згоряє кам'яного вугілля, природного

газу, деревини, нафти, бензину. Якщо в повітрі перебувати до 1% С, то це вже негативно впливає на біоту, а до 4% СО, для багатьох видів є летальною дозою.

- Оксиди азоту (NO , NO_2 , N_2O), що в 10 разів небезпечно для людини, ніж СО, викидаються в повітря переважно підприємствами, які виробляють азотну кислоту і нітриди, анілінові барвники, целулоїд, віскозний шовк, а так само паливними агрегатами ТЕС і ТЕЦ, металургійними заводами і сприяють утворенню кислотних дощів.

- Аміак (NH_3), що застосовується для виробництва, зокрема азотної кислоти, подразнює дихальні шляхи людей і тварин.

- Діоксид сірки (SO_2), або сірчистий газ, виділяється в часі згоряння палива з домішкою сірки (вугілля, нафта), переробки сірчанних руд, виплавки металів.

- Триоксид сірки (SO_3), виходить в результаті окислення SO_2 в атмосфері під час фотохімічних і каталітичних реакцій і є аерозолем або розчином сірчаної кислоти в дощовій воді, яка окисляє ґрунту, посилює корозію металів, руйнування гуми, мармуру і сприяє загостренню захворювань легенів і дихальних шляхів.

Для зменшення забруднення атмосфери шкідливими речовинами влаштовують системи газозбирача і газо-очисника, використовують газу, що містять СО і вуглеводні, для технологічних цілей, регулюють склад атмосфери (електропечі опору з контрольованою атмосферою і ін.). Замінюють процеси з великим газовиділенням. Очищення газів проводиться, адсорбційних і каталітичних методами абсорбції.

Разом з газами, паливом і при супутніх термообробці процесах в атмосферу мчить значна кількість пилу. Для зменшення забруднення атмосферного повітря (особливо при викиді промислових газів, що відходять), для технологічної підготовки газів і витягування з газів корисних матеріалів проводиться пиловловлювання за допомогою пиловловлювачів, вбудованих в основне обладнання чи виносних.

електротермічне обладнання є великим споживачем води, що витрачається для охолодження елементів печей і пристроїв. До води пред'являються високі вимоги. Для зменшення забору з джерел і забезпечення її якості та очищення води доцільне пристрій систем оборотного водопостачання.

Особливу увагу необхідно звертати на знешкодження стічних вод, в яких можуть знаходитися ціаністі сполуки або інші отруйні речовини. Для знешкодження ціаністих стічних вод рекомендується використовувати луг (вапняне молоко) і хлористих компонентів (рідкий хлор, гіпохлорит натрію, гіпохлорит кальцію, хлорне вапно і ін.). Кількість лугу повинно забезпечувати підтримку рН (водневий показник) стічних вод в межах 10,5-11,0. Дозу активного хлору приймають рівною 3,5 частини по масі на 1 частину циана. Потім ціаністі води перед відстійниками подкисляють до нейтральному середовищі. Для очищення від ціанідів можливе також вживання марганцевокислого калію і перекису водню. При значних концентраціях ціанід-іонів (наприклад, стічні води ділянок ціанування) доцільне вживання електрохімічного очищення.

Після реагентної обробки, відстоювання і в деяких випадках фільтрування стічні води зазвичай скидають в побутову каналізацію або водойму. Повернення очищених реагентної методом і доочищеної на фільтрах стічних вод можливий лише на невідповідальні операції процесів гальванічних покриттів.

Для відстоювання стічних вод можуть застосовуватися горизонтальні і вертикальні відстійники з тривалістю відстоювання не менше 2 годин.

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

ВИСНОВКИ

В ході виконання розділу з охорони праці було запропоновано заходи для підвищення безпеки на виробництві а саме:

- безпека праці у термічному цеху повинна бути особливо продуманою та відповідати всім нормативним документам, також кожен працівник повинен сумлінно виконувати вимоги розроблені для забезпечення його безпеки, при виконанні ним безпосередніх обов'язків;

- проаналізовані небезпеки які можуть бути на виробництвах в цілому так, і безпосередньо у термічних цехах, запропоновані заходи для попередження та запобігання розглянутих небезпек на виробництві.

Із запропонованих заходів з охорони праці можна виділити наступні вимоги це:

- правила його експлуатації обладнання та інструменту;
- вдосконалення інструкцій на виробництві;
- Періодичне обстеження та ремонт обладнання.

Запропоновані заходи з екологічної безпеки виробництва. Головне це зменшення забруднення атмосфери шкідливими речовинами тому на виробництві потрібно влаштувати системи газозбирачів і газо-очисників, що будуть фільтрувати гази, що містять СО і вуглеводні, для технологічних цілей, регулювати склад атмосфери.

ВИСНОВКИ

Борирування є одним із найперспективніших видів хіміко-термічної обробки. Але він має ряд своїх недоліків, один із них – це висока крихкість покриття, через присутність у покритті фази FeV.

Для зниження крихкості боридного покриття рекомендується додавати до борирувальної суміші такі елементи як мідь, титан, хром, ванадій, або одночасно мідь та ванадій, або нікель та молібден.

Але на властивості покриття впливають не лише легувальні елементи в шихті для борирування, а і легувальні елементи в сталі. Кожен із них впливає по різному, але у всіх них є спільна риса вони всі знижують дифузію бору в сталь в тій чи іншій мірі.

Доцільно борирувати низьколеговані сталі. Вуглець як і всі легувальні елементи, зі збільшенням його вмісту в сталі зменшує товщину боридного покриття, при чому при концентрації вуглецю 0,8% і ймовірніше утворення боридного цементиту. Для борирування ефективно застосовувати низько- та середньовуглецеві сталі.

Для виконання дослідження було запропоновано обрати сталі: У8, ХВГ, 5ХНМ. Сталь У8 використовують для виготовлення інструменту який не вимагає високої теплостійкості. Сталь ХВГ застосовують для виготовлення інструменту, його робоча температура може досягати 100⁰С. Сталь 5ХНМ застосовують для виготовлення штампів для гарячого штампування, робоча температура може бути від 300 до 450⁰С.

Мікроскопічні дослідження застосовують для дослідження мікроструктури сталей та поверхневого шару зразків. Дослідження проводилися на мікроскопі МІМ-7.

Випробування дослідження мікротвердості застосовують для визначення твердості окремих фаз та структурних складових металу. Вимірювання мікротвердості проводять на обладнанні ПМТ-3.

Дослідження на зносостійкість проводять на машинах випробування для тертя, у нашому випадку на машині для тертя СМТ-1, за ГОСТом-23208-79.

Мікроструктурний аналіз отриманих покриттів показав, що комплексні боридні покриття подібно до класичних боридних покриттів мають голчасту структуру з чітко вираженою межею поділу покриття-основа. Після борохромовання боридні голки мають дещо заокруглений характер, ніж після борирування та бороміднення. Бороміднення сприяє зменшенню характерної для боридних покриттів закритої пористості.

Після борованадіювання товщина дифузійних шарів зменшується майже в два рази порівняно із класичною технологією борирування і складає 80-90 мкм для сталі У8, близько 100 мкм для сталі ХВГ та 100-110 мкм для 5ХНМ. Покриття володіють меншою пористістю ніж класичне покриття.

Після борованадієміднення товщина покриття дещо зростає порівняно із борованадіюванням, що пов'язано з додаванням міді до складу шихти, і складає 50-70 мкм для сталі У8, 50-70 мкм для сталі ХВГ та 60-85 мкм для 5ХНМ.

ДюрOMETричні дослідження показали, що отримані шари після класичної технології насичення мають близько 20 ГПа, після бороміднення – ~ 10,9 ГПа для сталі У8; ~ 15 ГПа для ХВГ та ~ 14 ГПа для 5ХНМ, що дещо нижче твердості борированого шару при класичній технології насичення. Після борованадіювання покриття має невелике підвищення мікротвердості ніж після бороміднення ~ 13,5 ГПа для сталі У8; ~ 16 ГПа для ХВГ та ~ 15 ГПа для 5ХНМ, а після борованадієміднення покриття мають найвищу твердість ~ 14,6 ГПа для сталі У8; ~ 18,9 ГПа для ХВГ та ~ 16 ГПа для 5ХНМ, що отримані шари після борохромовання мають мікротвердість поверхні 16–19 ГПа.

Зносостійкість комплексних боридних покриттів залежить від марки сталі та хімічного складу насичувальної суміші: сталь У8 має найнижчі показники зносостійкості, сталь ХВГ – найвищі. Виходячи із експериментальних даних можна зробити висновок, що зносостійкість покриття визначається фазовим складом отриманих шарів, товщиною шару та його твердістю.

Таким чином, у ході виконання економічної частини магістерської роботи було розраховано:

- вартість матеріалу для проведення експерименту;
- основна і допоміжна заробітні плати, при проведенні експерименту;
- амортизаційні відрахування;
- витрати на ремонт обладнання;
- витрати на оснащення обладнання;
- витрати на електричну енергію для проведення досліджень;
- витрати на допоміжні матеріали;
- витрати на утримання ділянки для досліджень;
- технологічну собівартість експерименту;
- загальновиробничі витрати;
- поза виробничі витрати;
- повну собівартість;
- капітальні витрати на обладнання та будівлю.

Проведений розрахунок є приблизним, так як не враховує втрат не випущеної річної продукції за час не планованих ремонтів, а також додаткової ціни, необхідної для підготування і проведення ремонтно-відновлюваних робіт.

В ході виконання розділу з охорони праці було запропоновано заходи для підвищення безпеки на виробництві а саме:

- безпека праці у термічному цеху повинна бути особливо продуманою та відповідати всім нормативним документам, також кожен працівник повинен сумлінно виконувати вимоги розроблені для забезпечення його безпеки, при виконанні ним безпосередніх обов'язків;

- проаналізовані небезпеки які можуть бути на виробництвах в цілому так, і безпосередньо у термічних цехах, запропоновані заходи для попередження та запобігання розглянутих небезпек на виробництві.

Із запропонованих заходів з охорони праці можна виділити наступні вимоги це:

- правила його експлуатації обладнання та інструменту;
- вдосконалення інструкцій на виробництві;
- Періодичне обстеження та ремонт обладнання.

Запропоновані заходи з екологічної безпеки виробництва. Головне це зменшення забруднення атмосфери шкідливими речовинами тому на виробництві потрібно влаштувати системи газозбирачів і газо-очисників, що будуть фільтрувати гази, що містять СО і вуглеводні, для технологічних цілей, регулювати склад атмосфери.

СУМІДІ

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурнышев И. Н. К вопросу борирования сталей/ И. Н. Бурнышев, О. М. Валиахметова, С. А. Мутагарова // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. –2007.–№4. –С.124-127.
2. Тарасов С. Ю., Структурные особенности боридных покрытий триботехнического назначения / С. Ю. Тарасов, Г. В. Трусова, А. В. Колубаев, О. В. Сизова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1995. – № 6. – С. 35–38.
3. Ворошин Л. Г., Структура сплавов системы Fe – В / Л. Г. Ворошин, Л. С. Ляхович, Г. Г. Панич, Г. Ф. Протасевич // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1970. – № 9. – С. 14–17.
4. Ворошин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. - Мн.: Беларусь, 1981. – 205 с.
5. Минкевич А. Н. Химико термическая обработка. Учеб. пособие. 2-е изд., пераб. – М.: Машиностроение, 1965. – 490 с.
6. Чернега С. М. Кавитационное разрушение диффузионных легированных боридных покрытий на сталях // Известия вузов «Черная металлургия». – 2000. – № 7. – С. 50–54.
7. Нечаев Л. М. Анализ эпюр макро-напряжений в поверхностных слоях сталей после проведения борирования/ Л.М. Нечаев, Н.Б. Фомичева, Е.В. Маркова, И.Ю. Канунникова// Фундаментальные исследования.– 2009.–№1.– С. 40.
8. Корнопольцев В.Н. Получение комплексных боридных покрытий // Ползуновский вестник. – 2012. – №1. – С. 135 – 139.
9. Тарасов С. Ю. Структурные особенности боридных покрытий триботехнического назначения / С. Ю. Тарасов, Г. В. Трусова, А. В. Колубаев, О. В. Сизова /Металловедение и термическая обработка металлов. – 1995. – №6– С.35-38

10. Ворошин Л. Г. Новая методика исследования диффузии легирующих элементов в бинарные сплавы / Л. Г. Ворошин, Л. С. Ляхович // Теплофизика в литейном производстве. – Мн. 1967 год. 69с.
11. Крукович М. Г., Прусаков Б. А., Сизов И. Г. Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010. – 384 с.
12. Глухов В. П. Борированные покрытия на железе и сталях. – Киев: Наукова Думка, 1970. – 208 с.
13. Мациевич Б. Ю., Исследование роста боридного слоя на поверхности углеродистых сталей / Б. Ю.Мациевич // Металловедение и термическая обработка металлов.– 2014.–№5(707).– С. 41-45.
14. Чернега С. М. Комплексне насичення вуглецевої сталі бором і міддю / С. М. Чернега, І. А. Поляков, М. О. Красовський // Наукові нотатки ЛНТУ. – 2015. – № 49. – С. 165–171
15. Пат. 102394 України, МПК С23С 8/70. Спосіб борування сталевих виробів. // Спиридонова І.М., Мостовий В.І., Федоренкова Л.І., Колюча В.Д. - № а201015588; заявл. 23.12.2010; опубл. 25.06.2012, бюл. №12.
16. Черда С. М. Підвищення зносостійкості поверхневих шарів металів та сплавів боридними покриттями за участю міді. / Черда С. М., Поляков Ш. А., Медова І. Ю // Вісник національного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2011. – №61. – С. 104 – 108.
17. Влияние параметров борхромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев, И. А. Гармаева // Ползуновский вестник. – 2007. – №3. С. 28 – 34.
18. Евдокимов В. Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов / В. Д. Евдокимов, Л. П. Клименко, А. Н. Евдокимова // Ползуновский вестник. – 2007. – №3 – С. 110-115.
19. Structure and characteristics coating sobtained after complex saturation boron and siliconon carbon steel / S. Chernega, I. Poliakov, M. Krasovskiy,

I. Medova // Machines. Technologies. Materials. – Sofia, Bulgaria. – 2015. – No. 1. – P. 39–41

20. Пат. 1349326 РФ, С23С 8/70. Состав для комплексного насыщения стальных изделий. // Ляхович Л. С., Шинкевич Ю. А., Бурнышев И. Н., Корнопольцев Н. В. – № 4043697/02; заявл. 27.03.1986; опубл. 10.12.1995.

21. Гапонова О. П. Структура і властивості боридних покриттів легованих міддю та хромом на інструментальних сталях / Гапонова О. П., Охріменко В. О. // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2016. – Вип. 10/3 (31). – С. 78-82.

22. Мишустин Н. М. Структура и некоторые свойства боридных покрытий для почвообрабатывающих органов сельхозтехники. / Н. М. Мишустин, Н. Т. Кривочуров, В. В. Иванайский, А. В. Ишков. // Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, Россия. – 2004. – С. 43-45.

23. Лабунец В. Ф. Повышение износостойкости деталей из стали У8 борированием из паст / В. Ф. Лабунец, В. В. Щепетов // Технология и организация производства. – 1992. – № 2. – С. 34–36.

24. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин, М. А. Герасьев, М. А. Гредитор, К. М. Крїлова, В. В. Кубачек, В. А. Мирмельштейн // М.: Машиностроение, 1989. 640 с.

25. Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. – М.: Металлургия, 1980. – 244 с.

26. Кузін О. А., Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. - Львів : Афіша, 2002. – 304 с.

27. Самойлов Н.С. Металлографические исследования / Н. С. Самойлов. – М. : Металлургия, 2006. — 120 с.

28. Пчелінцев В. О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / В. О. Пчелінцев, А. І. Дегула. – Суми: СумДУ, 2012. – 247 с.

29. Карапетян Е. Т. Економіка підприємства: навч.-метод. посіб. / уклад. Е. Т. Карапетян ; відп. за вип. В. І. Гринчуцький. — Тернопіль: Вектор, 2015. — 320 с.
30. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства: навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. — К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.
31. Кукин П. П. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда) / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Е. А. Подгородных. – М.: Высшая школа, 1999. – 318 с.
32. Піскун І. П. Охорона праці (техніка безпеки): Навчальний посібник / І. П. Піскун, М. Ф. Мандзюк, І. О. Трунова, М.Є. Ліщук. / За ред. І. П. Піскуна – Луцьк : Волинянин. 2012. – 448 с.

С У М І Д