

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. П. Гапонова

«___» _____ 2020 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Вплив режимів карбонітрації на структуру та механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів»

Студент гр. МТ.м-91 _____

Мартиненко Є. М.

Керівник _____

Говорун Т. П.

Консультант
з економічної частини _____

Берладір Х. В.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т. П.

Нормоконтроль _____

Дегула А. І.

Суми 2020

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. П. Гапонова

«___» _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Мартиненко Є. М.

1. Тема проекту (роботи) Вплив режимів карбонітрації на структуру та механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів
_____ затверджена

наказом по університету від “___” _____ 20__ р. № _____

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріал - швидорізальна сталь Р6М5 та необхідність її зміцнення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. аналіз літературних джерел та вибір основних напрямів дослідження

2. загальна методика та основні методи дослідження

3. експериментальні дослідження та загальні результати

4. економічна частина

5. охорона праці довкілля, та техніка безпеки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти з проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що їх стосуються

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямів дослідження	Жовтень 2020	
	Загальна методика та основні методи дослідження	Жовтень 2020	
	Експериментальні дослідження та загальні результати	Листопад 2020	
	Економічна частина	Листопад 2020	
	Охорона праці, довкілля, та техніка безпеки	Грудень 2020	

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Мартиненко Євгенія Миколаївна. Вплив режимів карбонітрації на структуру та механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів. – Рукопис.

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

В роботі проведено визначення впливу умов процесу карбонітрації на структуру й механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів.

Результати проведеного дослідження показали, що насичення поверхні швидкорізальної сталі Р6М5 азотом і вуглецем при карбонітрації в порошковому середовищі, яке складалось із вугілля, соди Na_2CO_3 і калія залізоціаністого $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ проводилось при температурах 450; 500 і 550 °С. Було встановлено закономірності впливу складу насичуючого середовища і режимів карбонітрації на структуру і фазовий склад дифузійних шарів на швидкорізальній сталі Р6М5 та залежності між режимами карбонітрації, структурою дифузійних шарів і властивостями (твердість і зносостійкість) швидкорізальної сталі Р6М5. На підставі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень розроблена енергозберігаюча та екологічно безпечна технологія зміцнення ріжучого інструменту з швидкорізальної сталі Р6М5, що забезпечує підвищення його стійкості в 1,5 - 2,0 рази.

Ключові слова: СТАЛЬ Р6М5, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, КАРБОНІТРАЦІЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

ABSTRACT

Martynenko E. M. Influence of carbonitration modes on the structure and mechanical properties of P6M5 steel for the production of cutting tools.

– The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – materials science. – Sumy State University, Sumy, 2020.

The influence of the conditions of the carbonitration process on the structure and mechanical properties of P6M5 steel for the production of cutting tools is determined in the work.

The results of the study showed that the saturation of the surface of high-speed steel P6M5 with nitrogen and carbon during carbonitration in a powder medium consisting of coal, soda Na_2CO_3 and potassium iron cyanide $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ was carried out at temperatures of 450; 500 and 550 °C. Regularities of influence of saturating medium composition and carbonitration regimes on structure and phase composition of diffusion layers on P6M5 high-speed steel and dependence between carbonitration regimes, structure of diffusion layers and properties (hardness and wear resistance) of P6M5 high-speed steel were established. Based on theoretical analysis and experimental research, an energy-saving and environmentally friendly technology for strengthening the cutting tool made of high-speed steel P6M5 has been developed, which provides an increase in its stability by 1,5 – 2,0 times.

Keywords: P6M5 STEEL, CHEMICAL-THERMAL PROCESSING, CARBONITRATION, MICROWAVE, WEAR RESISTANCE

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 74 сторінки, у тому числі 8 рисунків, 5 таблиць, бібліографії із 42 джерел на 5 сторінках.

Мета роботи полягає в визначенні впливу умов процесу карбонітрації на структуру й механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів.

Об'єкт дослідження – структура та механічні властивості (твердість і зносостійкість) швидкорізальної сталі Р6М5 після процесу карбонітрації.

Предмет дослідження – зразки інструментальної швидкорізальної сталі Р6М5, отримані після карбонітрації.

Методи дослідження. У даній роботі для дослідження мікроструктури і властивостей сталі були застосовані методи: оптична металографія (мікроскоп МИМ-7); вимірювання твердості за методом Роквелла (твердомір ТК-2), мікротвердості (прилад ПМТ-3).

Наукова новизна отриманих результатів. Досліджено насичення поверхні швидкорізальної сталі Р6М5 азотом і вуглецем при карбонітрації в порошковому середовищі, яке складалось із вугілля, соди Na_2CO_3 і калія залізоціаністого $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ при температурах 450; 500 і 550 °С. Встановлено закономірності впливу складу насичуючого середовища і режимів карбонітрації на структуру і фазовий склад дифузійних шарів на швидкорізальній сталі Р6М5 та залежності між режимами карбонітрації, структурою дифузійних шарів і властивостями (твердість і зносостійкість) швидкорізальної сталі Р6М5. На підставі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень розроблена енергозберігаюча та екологічно безпечна технологія зміцнення ріжучого інструменту з швидкорізальної сталі Р6М5, що забезпечує підвищення його стійкості в 1,5 - 2,0 рази.

Ключові слова: СТАЛЬ Р6М5, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, КАРБОНІТРАЦІЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
1.1 Характеристика процесу карбонітрації.....	13
1.2 Покращення властивостей сталей при застосуванні карбонітрації	16
Висновки.....	22
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1 Характеристика і властивості сталі Р6М5.....	23
2.2 Вплив легуючих елементів на властивості сталі Р6М5.....	24
2.3 Методика та методи проведення випробувань і досліджень.....	27
Висновки.....	31
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	32
3.1 Характеристика процесу карбонітрації	32
3.2 Переваги карбонітрації.....	34
3.3 Проведення термічної обробки для сталі Р6М5.....	35
3.4 Методика карбонітрації	37
3.5 Обговорення результатів дослідження	42
Висновки.....	47
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	48
4.1 Визначення економічного ефективного науково-дослідних робіт.....	48
4.2 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідних	

робіт.....	51
Висновки.....	55
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ	
I ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	56
5.1 Основні поняття з охорони праці	56
5.2 Потенційні небезпечні та шкідливі виробничі фактори на ділянках термічних цехів	59
5.3 Вимоги з охорони праці до працівників, що працюють на термічних ділянках та цехах	62
5.4 Техніка безпеки печей при проведенні процесу карбонізації.....	63
5.5 Охорона навколишнього середовища та довкілля	65
Висновки.....	68
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

ВСТУП

Актуальність теми пов'язана з використанням карбонітрації як фінішної хіміко-термічної обробки ріжучого інструменту для покращення його властивостей.

На разі в якості зміцнюючих технологій широке застосування отримали методи поверхневого зміцнення, в тому числі хіміко-термічні.

Основними перевагами хіміко-термічної обробки є доступність і низька ціна, а також можливість управляти складом і будовою тонкого поверхневого шару, змінюючи градієнт властивостей від поверхні до серцевини і підвищуючи його службові характеристики. В результаті реалізації цих процесів відбувається зміцнення і підвищується зносостійкість деталей [1].

Одним із популярних видів ХТО сталей і чавунів практично будь-яких марок є карбонітрація. В цьому випадку поверхневий шар заготовок насичується вуглецем і азотом в соляних розплавах при температурі 560-580 °С. Соляні склади синтезовані з аммоновуглицевих з'єднань: меламіну, мелоніну, діциандіаміду.

Карбонітрація подібна до ціанування. Але ціанування здійснюється з використанням токсичного ціаніду натрію при температурах до 860 °С. Для карбонітрації застосовують неутруйні з'єднання, здійснюється вона при температурах до 570 °С [2].

Переваги технології карбонітрації сталі [2]:

- одночасне насичення азотом і вуглецем ініціює появу карбонітридних фаз – більш пластичних і менш крихких, в порівнянні з чисто нітридними;
- карбонітрація – найбільш економічний процес, завдяки його невеликій тривалості - 0,5-4 години;
- рівномірність нагріву і дифузії;
- відсутність термічних напруг, що забезпечує мінімальні деформації і точність геометричних параметрів в межах мікронів;

- поліпшення втомної міцності виробів до 80 %, зносостійкості, корозійної стійкості;
- зменшення коефіцієнта тертя до 5 разів;
- відсутність крихкості поверхневого шару, насиченого карбонітридом;
- можливість обробки недорогих сталей, що не зміцнюються традиційним азотуванням. В результаті карбонітрації вони набувають характеристики, якими володіють більш дорогі і гірше оброблювані сталі;
- цей процес для рядових деталей є фінішним, що не вимагає додаткової механічної обробки. Відповідальні вироби після карбонітрації піддають хонінгуванню - поліруванню на 1-2 мкм.

Комбіноване насичення поверхні азотом і вуглецем може застосовуватися навіть для високолегованих і стійких до корозії сталей. На їх поверхні присутня щільна плівка з оксидів хрому та інших легуючих добавок, що перешкоджає процесу чистого азотування [2].

Додатковим плюсом цієї технології є можливість часткового занурення деталі в сольовий розплав, що дозволяє зміцнити тільки окремі ділянки.

На карбонітрацію надходять деталі з остаточними розмірами. При необхідності залишають мінімальний припуск на посадочних поверхнях для полірування.

Послідовність карбонітрації включає в себе: очищення, знежирення; нагрівання деталі в печі після цього проводиться карбонітрація; охолодження у воді, маслі, на повітрі; промивання, сушіння.

Таким способом обробляють: ріжучий інструмент, прес форми, пари тертя, елементи зубчастих передач, деталі насосів [2].

Важливий плюс цієї технології - відповідність екологічним нормам і безпека працівників, завдяки відсутності отруйних сполук в насичуючому середовищі. Карбонітрація застосовується, як на великих промислових підприємствах, так і в невеликих майстернях, і в домашніх умовах [2].

Мета роботи полягає в визначенні впливу умов процесу карбонітрації на структуру й механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні **завдання дослідження**:

- провести аналіз літературних джерел по застосуванню процесів карбонітрації;
- підготувати зразки із сталі Р6М5 для проведення досліджень і визначити методи дослідження їх властивостей та провести процес карбонітрації;
- виміряти мікротвердість та зносостійкість карбонітридного шару;
- дослідити вплив процесу карбонітрації на структуру і фазовий склад карбонітридного шару;
- проаналізувати вплив карбонітрації на величину зносостійкості зразків зі сталі Р6М5;
- вивчити вплив структури і фазового складу на механічні властивості сталі Р6М5;
- зробити висновки по отриманим результатам досліджень.

Об'єкт дослідження – структура та механічні властивості (твердість і зносостійкість) швидкорізальної сталі Р6М5 після процесу карбонітрації.

Предмет дослідження – зразки інструментальної швидкорізальної сталі Р6М5, отримані після карбонітрації.

Методи дослідження. У даній роботі для дослідження мікроструктури і властивостей сталі були застосовані методи: оптична металографія (мікроскоп МИМ-7); вимірювання твердості за методом Роквелла (твердомір ТК-2), мікротвердості (прилад ПМТ-3).

Наукова новизна отриманих результатів. Досліджено насичення поверхні швидкорізальної сталі Р6М5 азотом і вуглецем при карбонітрації в порошковому середовищі, яке складалось із вугілля, соди Na_2CO_3 і калія залізоціаністого $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ при температурах 450; 500 і 550 °С. Показана

висока швидкість ціанування і екологічна безпека процесу. Встановлено закономірності впливу складу насичуючого середовища і режимів карбонітрації на структуру і фазовий склад дифузійних шарів на швидкорізальній сталі Р6М5. Експериментально встановлено залежності між режимами карбонітрації, структурою дифузійних шарів і властивостями (твердість і зносостійкість) швидкорізальної сталі Р6М5. На підставі аналізу літературних джерел та експериментальних досліджень розроблена енергозберігаюча та екологічно безпечна технологія зміцнення ріжучого інструменту з швидкорізальної сталі Р6М5, що забезпечує підвищення його стійкості в 1,5 - 2,0 рази.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно було проаналізовано літературні джерела за тематикою магістерської роботи, виконано постановку задач і завдань та визначено мету досліджень, виготовлено зразки, під керівництвом було проведено металографічні дослідження, визначено твердість, мікротвердість і зносостійкість досліджуваних зразків, самостійно виконано узагальнення та оформлення отриманих результатів, сформульовано висновки та текст кваліфікаційної випускної роботи.

Апробація роботи. Мартиненко Є.М., Говорун Т.П. Покращення властивостей сталі Р6М5 для виготовлення деталі «циліндрична фреза» // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – С. 117-118.

Публікації. Тези конференції.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 74 сторінки, у тому числі 8 рисунків, 5 таблиць, бібліографії із 42 джерел на 5 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

У процесі виконання та вирішення завдань, поставлених в магістерській роботі було проведено огляд літератури, патентів, статей, за тематикою работ: «Вплив режимів карбонітрації на структуру та механічні властивості сталі Р6М5 для виготовлення ріжучих інструментів».

Однією з основних задач є збільшення терміну служби інструменту, що насамперед зменшить витрати коштів на дорогі матеріали для машинобудівних та металургійних підприємств.

Під час роботи інструменти зношуються за рахунок того, що піддаються підвищеним температурам та силовим діям. Отже властивості та структура поверхневих шарів має великий вплив на продуктивність та працездатність інструменту.

Огляд та аналіз літератури, статей, патентів приведено нижче.

1.1 Характеристика процесу карбонітрації

Карбонітрація – високоефективна технологія поверхневого зміцнення деталей машин, штампової і пресової оснастки різного призначення, ріжучого інструменту. Її застосування замість газового азотування дозволяє багаторазово скоротити тривалість циклу обробки і підвищити експлуатаційні властивості зміцнюючих деталей [3].

Суть методу карбонітрації полягає в тому, що деталі машин з конструкційних, нержавіючих, теплостійких інструментальних і швидкорізальних сталей піддають нагріванню в розплаві солей при 540-600 °С з витримкою 5-40 хв. для ріжучого інструменту, штампового інструменту і деталей машин залежно від необхідної товщини зміцненого шару. Процес карбонітрації простий у виконанні, який не потребує складного обладнання

застосування карбонітрації для обробки деталей підвищує втомну міцність на 50-80 %, збільшує зносостійкість, забезпечує мінімальні величини деформацій [3].

Технологія застосовна для покращення деталей з будь-яких марок сталей і чавуну, забезпечує точність деталей. Серед технологій низькотемпературного зміцнення карбонітрація в розплавах солей є найбільш економічним процесом, тому що скорочує тривалість витримки до 0,5-6 годин, замість 10-60 годин при газовому азотуванні. Процес карбонітрації дозволяє забезпечити високу швидкість нагріву, рівномірність температури в об'ємі ванни, в широких межах регулювати швидкість охолодження і, як правило, є остаточною операцією виготовлення деталей [3].

Карбонітрація інструменту зі швидкорізальної і легованої сталі полягає в дифузійному насиченні поверхневих шарів інструменту азотом і вуглецем, одержуваних при розкладанні карбаміду (сечовини) в інтервалі температур 480-660 °С з утворенням нітриду і карбонітридів, підвищують твердість, зносостійкість і теплостійкість інструменту. Процес здійснюється на діючому обладнанні термічних цехів - стандартних шахтних печах типу СШЦ і США із застосуванням дозуючого пристрою [4].

Час обробки ріжучого інструменту змінюється від 2-3 годин до 30-60 хв. залежно від типорозміру і призначення інструменту. Процес нетоксичний.

Отримані після карбонітрації дифузійні шари товщиною від кількох мікрон (для малорозмірних інструменту) до 0,01-0,02 мм (для інструменту з великим зубом) забезпечують підвищення стійкості інструменту в 1,5-3 рази.

Карбонітрація, як і азотування, за рахунок насичення азотом зміцнює поверхневий шар (0,3 мм), одночасно надаючи йому корозійну стійкість. На поверхні утворюється шар особливо твердого (білого) карбонітриду перевершує по твердості навіть загартовану сталь і тому, завдяки наявності на поверхні особливо твердого шару карбонітриду, деталі, що пройшли карбонітрацію, довгий час після початку експлуатації не отримують навіть малого зносу, завдяки чому сполучення працюють без динамічних

навантажень, які зазвичай супроводжуються збільшенням зазорів в результаті зносу. Це ж забезпечує багаторазове збільшення терміну служби. Крім того, карбонітрація надає корозійну стійкість [5]. В даній роботі було розглянуто, що тривалість карбонітрації на порядок коротше газового азотування, а перед обробкою не потрібно настільки ж ретельного очищення деталей, як перед газовим азотуванням [5].

У вітчизняній промисловості карбонітрацію застосовують для деталей двигуна, різального і штампового інструменту, інструменту і деталей ткацьких верстатів [6].

Оскільки карбонітрація проводиться при порівняно низьких температурах (нижче за температури структурних перетворень), то при цьому процесі вдається уникнути повторного гартування, внаслідок чого надається можливість зберегти поліпшену структуру серцевини. Крім того, для цього виду обробки використовуються неутруйні реагенти, вона порівняно проста, тому може бути рекомендована для поверхневого ріжучого інструменту, штамсів і ресорнопружинних сталей у виробничих умовах [6].

При знижених температурах процесу відбувається переважне насичення поверхні азотом, тому виходить невелика глибина зміцненої зони, а також різна зміна твердості по глибині [6].

Після карбонітрації стійкість різального інструменту: різців, зенкерів, свердел, розгорток, фрез із швидкорізальних сталей P18, P6M5 – збільшується в 1,5 - 6 разів. Собівартість карбонітрації становить 1 - 3 % вартості інструменту. Процес характеризується високою продуктивністю, простотою, технологічністю і застосуванням нетоксичних солей. Процес може бути впроваджений у термічному цеху або ділянці на будь-якому машинобудівному заводі. Процес впроваджений на багатьох підприємствах [7].

1.2 Покращення властивостей сталей при застосуванні карбонітрації

Автором [8] було показано, що низькотемпературна нітроцементация свердел з швидкорізальної сталі Р6М5 позитивно позначається на параметрах процесу різання – величини крутного моменту і осьової складової сили різання під час свердління зменшуються відповідно в 1,4 і 1,5 рази, що дозволяє значно знизити енергетичні витрати на процес свердління, зменшити ефективну потужність електродвигуна дреля. Експлуатаційна стійкість нітроцементованого інструменту по порівняно зі стандартним незміцненим інструментом підвищується в 1,7 - 1,9 рази, що дозволило зробити висновок про економічну доцільність застосування процесу нітроцементации свердел, виготовлених зі швидкорізальної сталі Р6М5. Проведені виробничі випробування спіральних свердел і мітчиків для нарізання метричної різьби з нітроцементованими покриттями показали підвищення його експлуатаційної стійкості в 2,2 рази.

В роботі [9] розглянуто експлуатаційні властивості, головним чином зносостійкість, інструментальних сталей для холодного і гарячого деформування, які можуть бути підвищені шляхом модифікації поверхневої зони. Одним з методів досягнення модифікації мікроструктури і хімічного складу інструменту, яке зазнає високих навантажень, є застосування термохімічної обробки. В даному випадку обробка забезпечує утворення шарів з карбідною і карбонітридною структурами. Для кожної марки сталі підвищення експлуатаційних властивостей може бути досягнуто відповідним вибором процесу карбідизації або карбонітрації. В результатах дослідів було виявлено, що поверхневі шари, отримані в результаті процесів карбідизації і карбонітрації, характеризуються високим опором зносу в умовах тертя ковзання. Представлені технології можуть бути використані для поліпшення зносостійкості інструментальних сталей для холодного і гарячого деформувань [9].

Головною метою [10] роботи було одержання сталей типу Fe–2Cu–2Ni–0,7Mo–XC методами порошкової металургії за різних температур спікання. Механічні властивості спечених сталей нещодавно сягнули рівня, аналогічного рівню сталей, що виробляються іншими методами. Статичні та динамічні механічні властивості деталей із спеченої сталі визначаються густиною та мікроструктурою. При цьому велика кількість характеристик процесу, наприклад, вихідний склад, легувальні елементи, атмосфера, час, температура спікання та нітроцементация впливають на мікроструктуру сталевих деталей. Виготовлення пресованого матеріалу потребує змішування порошку, холодного пресування при 500 МПа та спікання при температурі у 1250 С в атмосфері Н₂ протягом 2 годин 25 хв. Було досліджено вплив температури спікання на твердість і мікроструктуру сталі. В даній роботі було розглянуто сталі типу Fe–2Cu–2Ni–0,7Mo–XC. Було проведено оцінку впливу нітроцементации на такі структури. Для характеристики спечених сталей використовувалися мікроскопія, СЕМ та випробування на руйнування [10].

Авторами роботи [11] було розглянуто вплив лазерної обробки, карбонітрації та їх поєднання з вакуумно-плазмових покриттів TiN на деякі властивості сталі Р6М5. Було виявлено, що карбонітрація підвищує зносостійкість і теплостійкість сталі, а також збільшує її теплопровідність. Лазерна обробка по оптимальному режиму підвищує зносостійкість і зменшує теплопровідність сталі Р6М5. Карбонітрація і лазерна обробка, а також їх поєднання з вакуумно-плазмовим покриттям TiN істотно змінюють схоплюваність передньої поверхні різців зі сталі Р6М5 з оброблюваним матеріалом, що можна використовувати в практиці для цілеспрямованої корекції цієї важливої властивості інструменту [11].

Автори [12], виходячи з результатів проведених досліджень, зробили висновок, що вплив карбонітрації, як фінішної операції, що застосовується для зміцнення різьби бурильних труб, може впливати на властивості основного металу через розвитку процесів відпускнуї крихкості. Особливо

помітно це спостерігається на прикладі сталі 40Г2, в якій відбувається додаткове зниження величини ударної в'язкості і утворення ділянок міжзеренного крихкого руйнування. У сталі 30ХГСА вплив нагріву під карбонітрацію також помітно, незважаючи на високі показники значень ударної в'язкості в інтервалі температур від 20 до -20 °С, в зламах спостерігаються ділянки крихкого міжзеренного мікрорельєфу, що свідчать про ослаблення меж, що посилюється внаслідок витримки в середовищі карбонітрації. Стосовно до сталей 40ХН2МА і 38ХМА нагрів під карбонітрацію на характер руйнування впливу не надав; дані сталі після всіх циклів обробки демонструють задовільні показники ударної в'язкості і сприятливу картину [12].

В роботі [13] було розглянуто практичне застосування карбонітрації, що сповільнило знос істотно, приблизно в 5-7 разів, скоротило річні витрати валів-шестерень і усунуло позапланові щоквартальні ремонтні простої бурових верстатів. Завдяки цьому було забезпечено зростання обсягів буріння, необхідного для збільшення видобутку руди на 10-15 %, при скороченні числа зайнятих в роботі верстатів. Застосування карбонітрації сприяє не тільки скороченню витрат запасних частин, але й зменшенню ремонтних простоїв обладнання, збільшенню його річного виробітку, в кінцевому рахунку – зростанню продуктивності праці [13].

Авторами [14] експериментально було показано що попереднє зміцнення підкладки з армо-заліза, деяких конструкційних і інструментальних сталей в результаті карбонітрації, іонно-плазмового азотування, однофазного або двофазного борування дозволяє до 3,3-13,2 рази підвищити інтегральну мікротвердість до 2,0-3,4 рази зносостійкість поверхні з покриттям TiAlN за рахунок формування щільного зміцненого підшару, який бере участь у формуванні напруженого стану систем «покриття-підкладка», знижує градієнт твердості матеріалів і вносить вклад в пружне відновлення покриття та індентаційний відгук поверхні. Встановлено, що внесок покриття TiAlN в інтегральну мікротвердість

поверхні визначається жорсткістю підкладки і на зміцнених підкладках істотно вище. Покриття TiAlN на підкладках зі зміцнюючим термодифузійним шаром показують велику несучу здатність і здатні не продавлюватися при великих навантаженнях. Отримані результати можуть стати підставою для зниження товщини PVD покриттів в аналогічних шаруватих системах без втрати у властивостях зміцнюючих поверхні [14].

В роботі [15] проведення процесів карбідизації і карбонітрації, як в киплячому шарі, так і при традиційному пічному нагріванні дозволяє підвищити зносостійкість складнолегованих сталей в умовах тертя-ковзання з мастилом. При проведенні процесу карбонітрації більш висока зносостійкість отримана на сталях X12M, X12MФ і 4X5MФС. При проведенні процесу карбідизації більш високу зносостійкість показали сталі з вмістом хрому 12-13 %. Використання нагріву в киплячому шарі при проведенні термодифузійних процесів карбідизації і карбонітрації складно легуючих сталей дозволяє збільшити їх зносостійкість від 2 до 30 % в порівнянні з використанням традиційного пічного нагріву [15].

Розроблено спосіб комплексного зміцнення сталевих виробів [16], що полягає в поєднанні двох взаємодоповнюючих зміцнюючих впливів: хіміко-термічної обробки при карбонітрації поверхні і подальшого нанесення наноструктурованого покриття TiAlN методом реактивного магнетронного напилення. Даний спосіб дозволяє створити жорсткий дифузійний шар для подальшого нанесення покриття, що в свою чергу дозволяє істотно підвищити твердість і зносостійкість зміцнюємих виробів, збільшити тріщиностійкість покриття і посилити адгезійну взаємодію між покриттям і підкладкою. Зміцнені за даним способом сталеві деталі мають в 4,5-5,1 рази вищу мікротвердість, в 4,1-7,0 рази – зносостійкість і більш ніж в 2,5 рази – корозійну стійкість за рахунок формування на їх поверхні нового композиційного матеріалу. Істотною перевагою пропонованої комбінованої обробки є можливість відходу від стандартної об'ємної зміцнюючої обробки і фінішних доводочних операцій. Даний спосіб комплексного зміцнення

сталевих виробів може бути використаний для зміцнення прецизійних деталей машин і механізмів, різального інструменту, штампового оснащення, деталей підшипників, деталей паливної апаратури, а також перспективний в області військової і космічної техніки, де потрібна висока статична вантажопідйомність поверхні в поєднанні з низьким коефіцієнтом тертя і високою стійкістю до корозії [16].

В патенті [17] авторами було розглянуто збільшення твердості і зносостійкості інструменту, виготовленого з нержавіючої сталі. Поставлена задача досягається тим, що склад для хіміко-термічної обробки нержавіючих сталей, що містить деревне вугілля і залістосинеродистий калій, додатково містить окис хрому, окис алюмінію, гідрокарбонат натрію і хлористий амоній. Використання окису хрому, окису алюмінію і хлористого амонію в поєднанні з деревним вугіллям, залістосинеродистим калієм і гідрокарбонатом натрію запобігає формуванню на поверхні нержавіючих сталей зони гематиту (Fe_2O_3) і магнетиту (Fe_3O_4) з низькою твердістю і сітки виділилися карбідів і нітридів в підслої; отримані на поверхні виробів карбонітридним шари мають меншу крихкість, підвищеною твердістю і зносостійкістю в порівнянні з шарами, отриманими з відомих складів. З наведених даних випливає, що карбонітрація в порошкових насичують середовищах з використанням пропонованого складу є ефективним засобом для підвищення твердості і зносостійкості нержавіючих сталей [17].

Авторами [18] задача зміцнення досягається тим, що склад для карбонітрації швидкорізальних сталей, включає деревне вугілля і залістосинеродистий калій, додатково включає окис хрому, окис алюмінію, гідрокарбонат натрію, окис бору, порошок алюмінію і фтористий алюміній при наступному співвідношенні компонентів, мас. %: деревне вугілля 2,5-3,5 %, залістосинеродистий калій 4,0-6,0 %, окис хрому 34,0-38,0 %, окис алюмінію 8,0-10,0 %, гідрокарбонат натрію 1,5-2,5 %, окис бору 17,5-22,5 %, порошок алюмінію 20,0-28,0 %, фтористий алюміній 0,5-1,5 %. З наведених даних випливає, що карбонітрація в порошкових середовищах з

використанням пропонованого складу дозволяє значно підвищити експлуатаційні характеристики. Вище вказані компоненти перемішуються в змішувачі в відповідних співвідношеннях. Оброблювані вироби поміщають в контейнер, засипають отриманої порошкової сумішшю. Контейнер поміщають в піч і витримують при відповідній температурі. Даний спосіб дає можливість отримати на поверхні виробів з швидкорізальних сталей карбонітридні шари підвищеної зносостійкості, при цьому знизивши температуру проведення процесу насичення до 400 °С. Показано, що карбонітрація в порошкових середовищах з використанням пропонованого складу дозволяє значно підвищити експлуатаційні характеристики виробів з швидкорізальних сталей при зниженні температури обробки [18].

В роботі [19] було розглянуто суть методу карбонітрації, який полягає в тому, що деталі машин з конструкційних, нержавіючих, теплостійких інструментальних і швидкорізальних сталей піддають нагріванню в розплаві солей з витягами 5-40 хв. для ріжучого інструменту, а штампового інструменту і деталей машин 1-6 годин залежно від необхідної товщини зміцненого шару. Застосування карбонітрації для обробки деталей підвищує втомну міцність на 50-80 %, різко збільшує зносостійкість, забезпечує мінімальні величини деформацій в межах допуску креслення [19].

Висновки

Карбонітрація – високоефективна технологія поверхневого зміцнення деталей машин, штампової і пресової оснастки різного призначення, ріжучого інструменту. Її застосування замість газового азотування дозволяє багаторазово зменшити тривалість циклу обробки і підвищити експлуатаційні властивості зміцнюваних деталей. Сам процес карбонітрації простий у виконанні і не потребує складного обладнання. Застосування карбонітрації для обробки деталей підвищує втомну міцність на 50-80 %, збільшує зносостійкість і забезпечує мінімальні величини деформацій.

Карбонітрація інструменту зі швидкорізальної і легованої сталі полягає в дифузійному насиченні поверхневих шарів інструменту азотом і вуглецем, одержуваних при розкладанні карбаміду (сечовини) в інтервалі температур 480-660 °С з утворенням нітридів і карбонітридів, які підвищують твердість, зносостійкість і теплостійкість інструменту. Час обробки ріжучого інструменту змінюється від 2-3 годин до 30-60 хв. залежно від типорозміру і призначення інструменту. Процес нетоксичний. Отримані після карбонітрації дифузійні шари товщиною від кількох мікрон (для малорозмірних інструменту) до 0,01-0,02 мм (для інструменту з великим зубом) забезпечують підвищення стійкості інструменту в 1,5-3 рази.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика і властивості сталі Р6М5

Сталь Р6М5 [7, 20] інструментальна швидкоріжуча, має підвищену схильність до знеуглецювання, підвищену в'язкість, гарний опір зносу, добру шліфуємість. Застосовується для всіх видів різального інструменту при обробці вуглецевих легованих конструкційних сталей; переважно для виготовлення різьбонарізного інструменту, а також інструменту, що працює з ударними навантаженням. Характеристики і властивості сталі Р6М5 приведено в таблицях 2.1 - 2.3.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі Р6М5, % [7, 20]

C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	P	S	Si	V	W
0,82- 0,9	≤ 0,50	3,8– 4,4	≤ 0,25	0,2- 0,5	4,8- 5,3	≤0,60	≤0,030	≤0,025	0,2- 0,5	1,7- 2,1	5,5- 6,5

Таблиця 2.2

Механічні властивості для сталі Р6М5 [7, 20]

Марка сталі	Режими обробки	Термічної		Межа міцності	HRC
	Температура гартування	Температура відпуску	$\sigma_{\text{вигин}}$, МПа		
Р6М5	1220°C	560°C	3300-3400	63-65	

Таблиця 2.3

Температура критичних точок для сталі Р6М5, °С [7, 20]

Ac ₁	Ar ₁
815	730

2.2 Вплив легуючих елементів на властивості сталі Р6М5

Р6М5 – інструментальна швидкорізальна сталь, що містить близько 1 % вуглецю, близько 6 % вольфраму, 5% молібдену та інші легувальні елементи, решта залізо та домішки [7, 21].

Вольфрам – основний елемент, що забезпечує швидкорізальній сталі червоностійкість. Така дія вольфраму визначається в загальному тим, що він утворює стійкий проти коагуляції складний карбід типу M_6C і підсилює міжатомні зв'язки в решітці мартенситу. Розчиняючись в карбіді типу $M_{23}C_6$, вольфрам також посилює його стійкість проти коагуляції. Вольфрам (разом з хромом і залізом) бере участь в утворенні потрібного металевого з'єднання, виділення якого з твердого розчину при високих температурах відпуску додатково підвищує червоностійкість сталі. Крім того, як елемент, що збільшує жароміцність сталі, вольфрам повинен підвищувати гарячу твердість інструменту, також є однією зі складових червоностійкості. Цьому додатково сприяють його нерозчинні карбіди. Вольфрам в загартованій і відпущеній сталі міститься в мартенситі і в карбідах. Атоми вольфраму, присутні в мартенситі, збільшують сили зв'язку з вуглецем, що підвищує його стійкість проти розпаду і зберігає в ньому частину вуглецю при нагріванні до 600-650 °С. Деяка кількість вольфраму виділяється з мартенситу у вигляді дисперсних карбідів при відпуску 525-600 °С і, викликаючи дисперсійне твердіння, підвищує твердість сталі [7, 21].

Вплив вольфраму в сталі, що містить більш 1,8-2 % V. Твердий розчин сталей цього типу містить після гартування більше ванадію, який поряд з

вольфрамом бере участь в дисперсійному твердінні і підвищує вторинну твердість. Крім того, карбіди ванадію затримують ріст зерна в сталі, що містить менше 11 % W. Однак сталі з 2-2,6 % V погано шліфуються, що ускладнює їх використання для інструментів, що піддаються значному шліфуванню. Ванадій розчиняється в деякій кількості в аустеніті при нагріванні для гартування і виділяється, збагачуючи розчин ванадієм і вуглецем, а при подальшому відпуску стійкі проти коагуляції карбіди ванадію виділяються з мартенситу, додатково підвищуючи вторинну твердість (за рахунок дисперсійного тверднення) і червоностійкість сталі, посилюючи дисперсійне твердіння. Вміст ванадію в швидкорізальній сталі не повинно бути нижче 1 %. При підвищенні вмісту ванадію понад 1,5-1,8 % у структурі утворюється карбід VC, що володіє більшою твердістю, ніж складний карбід вольфраму. Кількість карбідів VC зростає із збільшенням вмісту ванадію, що покращує і зносостійкість, але погіршує шліфуємість [7, 21].

Ванадій затримує ріст зерна при нагріванні для гартування, якщо він присутній у вигляді карбиду VC і сталь містить менше 12 % W. Розчинність ванадію в аустеніті потрійного сплаву Fe-VC може бути доведена до 1,5-1,7 %. У швидкорізальній сталі в присутності хрому і вольфраму розчинність ванадію менше. Вона досягає 1,3-1,4 % для сталі з 4 – 5 % V, що, однак, перевершує вміст ванадію в аустеніті сталі P9 і P18. Розчиняючись в складному карбіді вольфраму, ванадій підвищує стійкість його проти коагуляції, посилюючи в ньому міжатомні зв'язки [7, 21].

Молібден, будучи хімічним близнюком вольфраму, впливає на процеси, що протікають в швидкорізальній сталі, і на її властивості аналогічно вольфраму. Сталі, леговані молібденом, мають у порівнянні з вольфрамовими сталями: більш рівномірний розподіл карбідів і дрібніші карбіди (приблизно на 2 бали для молібденових сталей і на 1 бал для молібденовольфрамових сталей) і менш чутливі до псування при відпалі. Крім того, розчинність молібдену в аустеніті потрійного сплаву Fe-Mo-C (при

розрахунку в атомних відсотках) більше розчинності вольфраму в сплаві Fe-W-C. У швидкорізальних сталях розчинність молибдену також більше; його зміст у твердому розчині становить 5,2-5,4 % після гартування з температури, що не викликає ріст зерна (1230 °C). При практичному застосуванні молибденових сталей виявилось, що вони більш схильні до зростання зерна, ніж вольфрамові. Це можна пояснити тим, що в молибденових сталях карбіди легше переходять при нагріванні в розчин, збільшуючи вміст вуглецю і зменшуючи міцність міжатомних зв'язків в ньому. Більш легке розчинення карбідних фаз у Вольфрамомолибденових і молибденових сталях пов'язано з тим, що кількість менш стійких карбідів типу $M_{23}C_6$ в них більше, ніж у вольфрамових. Молибденові сталі більш чутливі і до знеуглецювання. Крім того, при високій температурі оксиди молибдену інтенсивно випаровуються, що призводить до значного збіднення поверхневого шару молибденом [7, 21].

У відпаленій сталі хром присутній у фериті, в складному карбіді вольфраму і, крім того, утворює карбід $Cr_{23}C_6$. Хром покращує загартованість і прогартованість. При нагріванні для гартування карбід хрому розчиняється при більш низьких температурах і насичує твердий розчин не тільки хромом, але і вуглецем, що забезпечує високу твердість мартенситу [7, 21].

З легуючих елементів, що не утворюють карбідів, великий позитивний вплив у швидкорізальній сталі, як було встановлено ще в 1912 р., надає кобальт. Найбільш сильно його вплив проявляється при гартуванні з температур вище 1300 °C, коли стійкість інструменту підвищується пропорційно вмісту кобальту. Це призвело до створення швидкорізальних сталей, легованих додатково кобальтом. Роль кобальту в швидкорізальній сталі ще не з'ясована. Побічно про цю роль можна судити з його впливу на основні властивості сталі і які у ній процеси. У загартованій і відпущеній сталі кобальт зменшує падіння твердості після нагрівання при 600 °C тим більшою мірою, чим більше число нагрівань. Отже, кобальт затримує процес знеміцнення сталі, зменшуючи швидкість коагуляції тих чи інших високодисперсних фаз [7, 21].

Найбільш ймовірна роль кобальту в швидкорізальній сталі полягає в посиленні ним ефекту дисперсійного твердіння, що викликається додатковим виділенням металевого з'єднання за рахунок зміни складу зміцнюючої фази і кінетики знеміцнення сталі. Зміцнююча фаза, яка містить кобальт, виділяється при підвищених температурах відпуску і має більшу стійкість проти коагуляції, що і може зумовити значне підвищення красностійкості сталі. Швидкорізальній сталі з кобальтом притаманні і певні недоліки, до числа яких відносяться підвищена схильність до знеуглецювання і велика крихкість [7, 21].

Кобальт в швидкорізальній сталі сприяє збільшенню кількості залишкового аустеніту. Однак це не є істотним недоліком, тому що він зменшує стійкість залишкового аустеніту, внаслідок чого після відпуску при 550-570 ° кількість аустеніту в кобальтовій сталі виявляється навіть менше, ніж у безкобальтовій [7, 21].

2.3 Методика та методи проведення випробувань і досліджень

Дослідження було проведено за допомогою мікроскопа МИМ-7, твердоміра – прилад Роквелла (типу ТК-2) та мікротвердоміра ПМТ-3.

Властивості матеріалу визначаються не лише його складом, але і структурою, зокрема, – мікроструктурою. Під мікроструктурою розуміють зеренну будову матеріалу (розмір, форму, орієнтацію та взаємне розташування зерен). Найпоширенішим методом визначення параметрів мікроструктури матеріалів є металографічний аналіз, який полягає у дослідженні об'єктів за допомогою оптичного мікроскопа МИМ-7. Металографічний аналіз виконується на спеціально підготовлених зразках – шліфах [7, 22].

Загальний вигляд мікроскопа наведен на рис. 2.1. Металографічний мікроскоп складається з трьох частин: 1) оптична; 2) освітлювальна; 3) механічна.

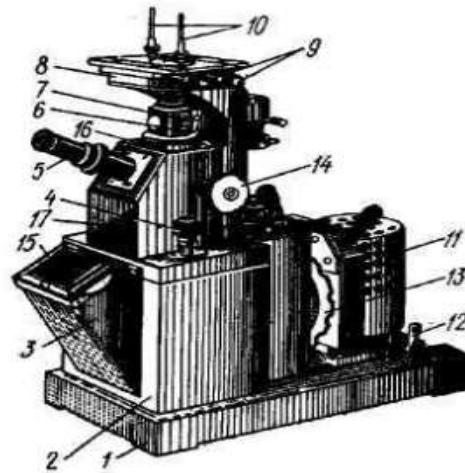


Рисунок 2.1 – Загальний вид мікроскопа МІМ-7: 1 - основа мікроскопа; 2 - корпус; 3 - фотокамера; 4 - мікрометричний гвинт; 5 - візуальний тубус з окуляром; 6 - держак ілюмінатора; 7 - ілюмінатор; 8 - предметний столик; 9 - держак переміщення столику; 10 - клеми; 11 - освітлювач; 12 - стопорний пристрій освітлювача; 13 - держак світлофільтрів; 14 - макрометричний гвинт; 15 - рамка з матовим склом; 16 - аналізатор; 17 - корпус центральної частини

Для роботи на мікроскопі при візуальному спостереженні потрібно: підняти макрогвинтом столик мікроскопа, встановити в центральний тубус об'єктив; встановити зразок на предметний столик; встановити у візуальний тубус окуляр; переміщуючи макрогвинтом столик знайти зображення [7, 23].

Твердість по Роквеллу визначають не по діаметру відбитка, а по глибині відбитка. На приладі Роквелла можна виміряти твердість загартованої і відпущеної сталі, твердих сплавів, а також твердість поверхневого прошарку. Сутність цього методу полягає в тому, що у дослідний зразок вдавлюють діамантовий конус із кутом при вершині 1200 для твердих металів або сталеву загартовану кульку діаметром 1,5 мм - для м'яких металів. Конус (кульку) вдавлюють двома послідовними навантаженнями: попереднім P₀ - 10 кг, і основним P₁ - 100 кг для кульки (шкала В), - 150 кг для діамантового конуса (шкала С) і - 60 кг для

діамантового конуса при визначенні твердості дуже твердих і більш тонких матеріалів (шкала А) прилад Роквелла (ТК-2) зображений на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Твердомір типу ТК-2

Визначення твердості виконується таким способом. На предметний столик установлюється дослідний зразок і обертанням маховика піднімається до наконечника доти, поки мала стрілка індикатора не досягне червоної точки, а велика з похибкою ± 5 поділок - нуль шкали індикатора. Якщо велика стрілка відхилилась більше чим на 5 поділок відносно нульового штриха шкали, необхідно опустити предметний столик і почати навантаження на зразок на новому місці. Обертанням барабана, що пов'язаний із рантом індикатора тросиком, установити 0 шкали проти кінця великої стрілки індикатора. Плавним рухом руки натиснути на клавішу і включити в роботу привід навантаження. Після закінчення циклу навантаження зробити відлік твердості по шкалі індикатора. Обертанням маховика проти годинникової стрілки дослідний зразок відвести від наконечника і зняти зі столу [7, 23].

Метод мікротвердості призначений для оцінки твердості дуже малих об'ємів матеріалу. Як індентор використовують алмазну піраміду. Індентор плавно вдавлюється у зразок при навантаженнях 0,05–5 Н (5 – 500 г) і витримується упродовж 3 – 5 секунд. Загальна схема мікротвердоміра ПМТ-3 наведена на рис. 2.3. Оскільки глибина вдавлювання індентора становить декілька мікрометрів, дуже важливо виключити вплив процесу підготовки

поверхні зразка на значення величини мікротвердості. Тобто зразок перед випробуванням повинен бути відшліфованим та відполірованим [7, 24].

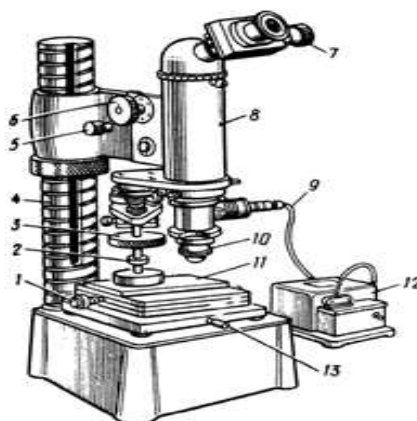


Рисунок 2.3 – Мікротвердомір ПМТ-3: 1 – мікрогвинт; 2 – індентор;
 3 – механізм навантаження; 4 – стійка; 5 – механізм мікроподачі; 6 – механізм
 мікроподачі; 7 – окулярний мікрометр; 8 – тубус; 9 – система освітлення;
 10 – об'єктив; 11 – предметний столик; 12 – трансформатор;
 13 – рукоятка поворот

СЛМ

Висновки

Сталь Р6М5 інструментальна швидкоріжуча, має підвищену схильність до знеуглецювання, підвищену в'язкість, гарний опір зносу, хорошу шліфуємість. Застосовується для всіх видів різального інструменту при обробці вуглецевих легованих конструкційних сталей; переважно для виготовлення різьбонарізного інструменту, а також інструменту, що працює з ударними навантаженням.

Р6М5 – інструментальна швидкорізальна сталь, що містить близько 1 % вуглецю, близько 6 % вольфраму, 5 % молібдену та інші легувальні елементи, решта залізо та домішки.

Вольфрам забезпечує швидкорізальній сталі гарну червоностійкість, молібден підвищує прогартовуваність, знижує поріг холодноламкості, підвищує статичну, динамічну міцність від втоми сталі Р6М5.

Властивості матеріалу визначаються не лише його складом, але і структурою, зокрема, – мікроструктурою. Під мікроструктурою розуміють зеренну будову матеріалу (розмір, форму, орієнтацію та взаємне розташування зерен).

Дослідження були проведені за допомогою мікроскопа МИМ-7, твердоміра Роквелла та мікротвердоміра ПМТ-3.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Характеристика процесу карбонітрації

Карбонітрація – хіміко-термічна обробка сталі, яка віддає азот і вуглець із насичуючого середовища виробу для отримання твердого та зносостійкого поверхневого шару. При карбонітрації заготовки в середовищі азоту і вуглецю нагріваються до температури від 450 °С до 590 °С і в залежності від технології витримуються від декількох хвилин до 5 год (максимально 10 год.) [25].

Шари отримуються при карбонітрації в більш короткі терміни і частково мають кращі властивості (наприклад, кращі антифрикційні властивості, високу зносостійкість, високу пластичність і, отже, низьку схильність до розтріскування при ударних навантаженнях, а також кращу корозійну стійкість).

На відміну від газополуменевого і індукційного гартування або цементації, підвищення твердості і зносостійкості поверхневого шару при карбонітрації ґрунтується не на утворенні мартенситу, а на утворенні твердих нітридів або карбонітридів [25].

Перед карбонітрацією заготовки, як правило, термічно поліпшуються. Попередня термічна обробка не тільки покращує властивості серцевини (міцність, в'язкість і деформованість), але і полегшує подальше поглинання азоту.

Карбонітрація буває : порошкова карбонітрація, карбонітрація в соляній ванні, газова карбонітрація, плазмова карбонітрація.

При порошковій карбонітрації заготовки вставляються в ящик, заповнений повністю відповідним для карбонітрації порошком. Потім ящик, порошок і заготовку нагрівають у відповідній печі до температури від 450 °С

до 590 °C (переважно 570 °C). Тривалість обробки складає від 1 до 5 год. [25].

Порошок, віддаючий азот і вуглець, є сумішшю ціанаміда кальцію (CaCN_2) та активатора, за допомогою якого можна впливати на ефект карбонітрації. При температурі обробки від 500 °C до 590 °C ціанамід кальцію спочатку розпадається на оксид кальцію, вуглекислий газ і аміак [25].

За допомогою розпаду діоксиду вуглецю (CO_2) або аміаку (NH_3) вивільняється вуглець або азот, який може дифундувати в поверхню сталі.

Карбонітрація в соляній ванні успішно використовується для обробки поверхні заготовок. Цей метод дозволяє домогтися значного підвищення твердості поверхневого шару, а також поліпшення корозійної стійкості, на сьогоднішній день даний метод застосовується найчастіше.

Солі, які підходять для карбонітрації, містять ціаніди і ціанати, які виділяють азот і вуглець при температурі обробки від 570 °C до 580 °C на різних етапах реакції. Соляні ванни в основному відповідають цементації, але зі значно меншим вмістом ціаніду. Тим часом переходять в основному до сольових розплавів без ціаніду [25].

Тривалість обробки при карбонітрації в соляній ванні, в залежності від матеріалу і бажаної товщини шару, зазвичай становить від 1 год до 5 год.

Заготовки аналогічно поміщають в соляну ванну і додатково вводять в розплав кисень із повітря. При температурі обробки від 570 °C до 580 °C ціанат (CNO-) розщеплюється, виділяючи азот і вуглець (останній через окис вуглецю, що виникає при розпаді ціаната). Карбонат, що виникає при цій реакції, може перетворюватися назад в ціанат за допомогою регенератора [25].

Конструкція установки для карбонітрації в соляній ванні складається в основному з печі підігріву і азотування. При необхідності можна підключити інші пристрої для охолодження заготовок і видалення залишків солі. Піч підігріву використовується для нагріву заготовок до температур від 350 °C до

450 °С, щоб запобігти утворенню тріщин, викликаних занадто швидким нагріванням при подальшій карбонітрації [25].

При газовій карбонітрації заготовка обробляється в газовій суміші, яка може вивільняти азот і вуглець. Основними компонентами цих сумішей є аміак і вуглекислий газ, аміак і чадний газ, аміак і газоподібний вуглеводень, наприклад, метан або пропан (проте на практиці використовується рідко) [25].

Обробка проводиться при 570 °С - 580 °С і триває близько 5 год. На відміну від газового азотування, в цьому методі за допомогою додаткового збагачення крайового шару вуглецем знижується тривалість азотування, що сприяє утворенню карбонітридів, а також ϵ -нітридів (Fe_2-3N).

Газова карбонітрація представляє можливість щодо короткого періоду обробки альтернативу карбонітрації в соляній ванні.

3.2 Переваги карбонітрації

До переваг карбонітрації відносять [2, 26]:

- одночасне насичення азотом і вуглецем ініціює появу карбонітридних фаз – більш пластичних і менш крихких, в порівнянні з чисто нітридними;
- карбонітрація – найбільш економічний процес, завдяки його невеликій тривалості - 0,5-4 години;
- рівномірність нагріву і дифузії;
- відсутність термічних напруг, що забезпечує мінімальні деформації і точність геометричних параметрів в межах мікронів;
- поліпшення втомної міцності виробів до 80 %, зносостійкості, корозійної стійкості;
- зменшення коефіцієнта тертя до 5 разів;
- відсутність крихкості поверхневого шару, насиченого карбонітридом;
- можливість обробки недорогих сталей, що не зміцнюються традиційним азотуванням. В результаті карбонітрації вони набувають характеристики, якими володіють більш дорогі і гірше оброблювані сталі;

– цей процес для рядових деталей є фінішним, що не вимагає додаткової механічної обробки. Відповідальні вироби після карбонітрації піддають хонінгуванню - поліруванню на 1-2 мкм.

Комбіноване насичення поверхні азотом і вуглецем може застосовуватися навіть для високолегованих і стійких до корозії сталей. На їх поверхні присутня щільна плівка з оксидів хрому та інших легуючих добавок, що перешкоджає процесу чистого азотування [2, 26].

Переваги порошкової карбонітрації: низькі інвестиційні витрати, простота у використанні, екологічність застосовуваних порошків.

Однак ці переваги супроводжуються деякими недоліками: витратна упаковка заготовок; відносно високі енерговитрати, так як необхідно нагрівати не тільки заготовку, а й порошок і ящик; порошок може використовуватися тільки один раз, утворюється велика кількість відходів [25].

Перевага карбонітрації в соляній ванні полягає в її застосовності практично до всіх залізних матеріалів, а також до сталей що спікаються. Обробляються переважно: нелеговані сталі, леговані цементовані і термічно поліпшені сталі леговані інструментальні сталі (для холодної обробки, гарячим способом і швидкорізальні сталі), нержавіючі сталі, литі матеріали, спечені сталі [25].

3.3 Проведення термічної обробки для сталі Р6М5

Виходячи з того, що для дослідження обрана сталь Р6М5, зазвичай для неї застосовують традиційну термічну обробку (рис. 3.1):

- 1) ізотермічний відпал;
- 2) гартування + трикратний відпуск. При гартуванні здійснюють ступеневе нагрівання, що забезпечує вирівнювання температури по перетину деталі і зменшує термічні напруження. Нагрівання здійснюється при температурах 500-600 °С, 840-860 °С та 1220-1240 °С, після чого – охолодження в маслі до 400-500 °С, далі – на повітрі.

Далі проводимо трикратний відпуск при 540–560 °С, кожний раз витримуючи 1 годину з подальшим охолодженням на повітрі.

В якості попередньої термічної обробки використовують ізотермічний відпал для поліпшення оброблюваності сталі і виправлення структури, який представляє витримку сталі, нагрітої до стану аустеніту, протягом деякого часу при постійній, заздалегідь певній температурі [7].

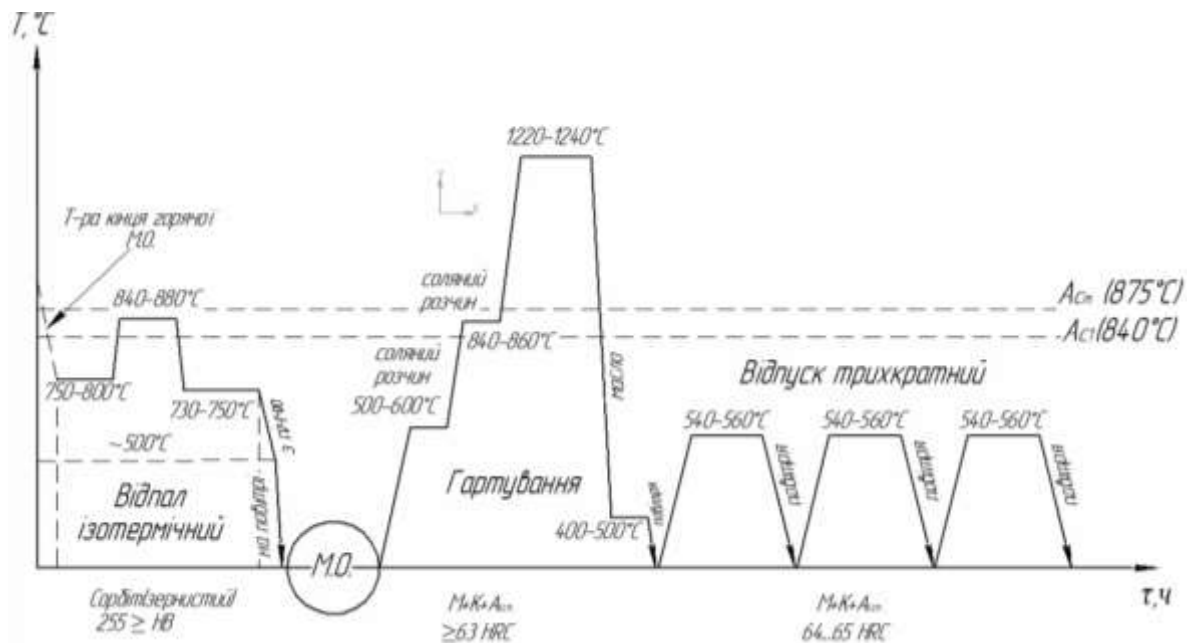


Рисунок 3.1 – Графік традиційної термічної обробки для сталі Р6М5

Ізотермічний відпал проводять для вирівнювання хімічного складу сталі, зняття внутрішніх напружень і зниження твердості після обробки тиском (прокатка, ковка та ін), зварювання заготовок, поліпшення оброблюваності різанням, приведення структури в рівноважний стан. Ізотермічний відпал повинен забезпечити отримання структури рівномірного зернистого або сорбітообразного перліту з твердістю не більше НВ 255-285 для швидкорізальних сталей. При його проведенні швидкість охолодження до температури ізотермічної витримки не регламентується, охолодження проводять звичайно в вимкненій печі з закритими дверцята [7].

Зміцнююча термічна обробка. Температура гартування сталі Р6М5 складає 1220 - 1240 °С. Мета гартування – отримання пересиченого вуглецем і легуючими компонентами мартенситу для того, щоб у процесі відпуску

забезпечити виділення з нього найбільшої кількості дисперсних карбідів цих компонентів і зміцнити виріб [7].

Структура швидкорізальної сталі після загартування складається з: легованого мартенситу, залишкового аустеніту (20 - 25 %), нерозчинних карбідів – 10 %.

Відпуск інструментів зі сталі Р6М5. Мета відпуску - отримати високі значення твердості і теплостійкості сталі в результаті реалізації процесів твердіння мартенситу і перетворення залишкового аустеніту в мартенсит [7].

У процесі відпуску дисперсні карбіди легуючих компонентів виділяються не тільки з мартенситу, викликаючи його дисперсійне твердіння, а й із залишкового аустеніту. У результаті його легування знижується температура точки M_H на «С»-образної діаграмі збільшується і виявляється вище цехової температури. Під час охолодження інструменту при його відпуску від 560°C до температури цеху залишковий аустеніт перетворюється в мартенсит. Для того щоб повністю позбутися від залишкового аустеніту і додатково збільшити твердість інструмента, його необхідно відпускати три рази при 560°C , з витримкою при цій температурі по 1 годині [7].

Структура швидкорізальної сталі після відпуску складається з мартенситу відпуску і нерозчинних карбідів $\sim 10\%$ і аустеніту залишкового $\sim 2\%$.

Властивості швидкорізальної сталі Р6М5 після остаточної термічної обробки інструментів: твердість – 62 - 65HRC, теплостійкість – 620°C , межа міцності – 3000 - 3500 МПа, ударна в'язкість (КС) – 0,25 - 0,35 МДж/м².

3.4 Методика карбонітрації

Карбонітрація - новий і прогресивний процес хімікотермічної обробки, який полягає у поверхневому насиченні сталей азотом і вуглецем у розплаві ціанатів. Процес полягає у тому, що вироби (деталі машин, інструменти та ін.) піддаються нагріванню при температурах $500-600^\circ\text{C}$ у розплавах неутруйних солей чистих ціанатів і ціанамідів або суміші металаміну і карбонатів для насичення поверхні виробів азотом і вуглецем з метою створення нової структури та поліпшення властивостей. На поверхні виробів одержують тонкий (10-20 мкм) шар

карбонітридів, що відрізняється високою зносостійкістю при глибині підшару 0,2-0,4 мм (глибина шарів залежить від тривалості витримки, що не перевищує 1-2 год) [7, 26, 27].

Видалення карбонітридного шару небажано, тому що воно призводить до істотного зниження зносостійкості. Тому карбонітрації піддають остаточно оброблені (включаючи шліфування, заточування та ін.) деталі та інструменти за схемою: знежирення в 3% розчині, підігрівання у повітряному середовищі до 350-400 °С, карбонітрація при 550-560 °С з продуванням розплаву стислим повітрям, охолодження на повітрі до 150 °С – оксидування (воронування) при 140°С і промивка.

Для карбонітрації використовують печі, що серійно випускаються, і печиванни з незначною модернізацією (титановий тигель із пристроями для продування розплаву повітрям) і звичні гальванічні ванни [7, 27].

У вітчизняній промисловості карбонітрацію застосовують для деталей двигунів, різального і штампового інструменту, інструментів і деталей ткацьких верстатів.

Оскільки карбонітрація проводиться при порівняно низьких температурах (нижче за температури структурних перетворень), то при цьому процесі вдається уникнути повторного гартування, внаслідок чого надається можливість зберегти поліпшену структуру серцевини. Крім того, для цього виду обробки використовуються неотруйні реагенти, вона порівняно проста, тому може бути рекомендована для поверхневого різального інструменту, штампів і ресорнопружинних сталей у виробничих умовах.

Поверхнєве насичення азотом і вуглецем значно підвищує межу витривалості сталі, особливо при невеликому зневуглецьованому шарі. Межа витривалості зміцнених зразків на 400 МПа (170 %) перевищує межу витривалості незміцнених зразків. Обробку проводять при вищій температурі (510 °С), ніж відпуск (460 °С), що забезпечує отримання максимальної межі витривалості. Така температура обробки дозволяє одержати оптимальне поєднання зміцнювальних характеристик і чутливості до концентрації напруг [7, 27].

Значне підвищення межі витривалості (від 450 до 670 МПа) зразків, зміцнених при 600 °С, в порівнянні з відпущеними при цій температурі, є підтвердженням переважного впливу міцності поверхневих шарів на опір втомному руйнуванню.

Для карбонітрації піч-ванна повинна бути оснащена газовим, рідким (мазутовим), електричним нагрівальним пристроєм. Найбільш зручна система електронагріванням, що дозволяє легко автоматизувати регулювання температури в печі і розплаві солей [7, 27].

Цілком зручними є електрованни із зовнішнім обігрівом типу СВГ-1,5 - 2/8.5М1; СВГ-2,5 - 2,5/8,5М1; СВГ-3,5 - 4/8.5М1.

Тигель повинен бути виготовлений з титану; залізний, сталевий або чавунний тигель неприйнятний, оскільки в процесі нагрівання залізо розчиняється сіллю, взаємодіє з нею, утворює фероціаніди і забруднює ціанатну ванну фероцианідами, осідаючими на поверхні металу і розпушуючи карбонітридний дифузійний шар. Титановий тигель забезпечує високу чистоту розплаву солі, гарну рідкоплинність і щільний дифузійний шар на поверхні оброблюваних виробів. У зв'язку з низькою температурою ведення процесу (близько 550-560 °С) титановий тигель служить довго і не здорожує процес.

Робочий склад розплаву ванни: 75-85 % KNCO + 25-15 % K_2CO_3 .

Для отримання ванни повинен бути використаний або чистий ціанат калію (KNCO), що поставляється відповідно до технічних умов, або суміш ціанату з 15-25% поташу.

Як по першому, так і по другому способам до сухого чистого титанового тигля завантажують сіль, що заповнює $1/4 + 1/2$ об'єму тигля. Засипку нагрівають до розплавлення, що відбувається при $T = 350$ °С. У розплавлену ванну завантажують нову порцію солі, яку також доводять до розплавлення. Таким чином, унаслідок поступового наплавлення заповнюють робочий обсяг тигля. Температура ванни під час наплавлення повинна підтримуватися на рівні 400-450 °С. Не потрібно перевищувати її, тому що це може призвести до забруднення розплаву розвитком вторинних реакцій [7, 27].

Якщо ванна отримується з використанням суміші ціанату з карбонатом, то після декількох годин витримки її при робочій температурі 550-560 °С вона готова до ведення процесу карбонітрації. Така витримка необхідна для того, щоб пройшли реакції, пов'язані з вогкістю використовуваних солей. У разі отримання ванни з використанням чистої ціанатної солі необхідно її після розплавлення постарити і окисненням довести концентрацію поташу до 15-25 %, тобто рівня робочого складу ванни. Необхідно мати на увазі, що використовувані солі схильні до поглинання вологи і їх потрібно зберігати у відповідних приміщеннях. При використанні сухих солей спінення і спучування солей у ванні у процесі розплавлення не спостерігається.

У цілях інтенсифікації реакції $2 \text{KNCN} + \text{O}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{CO} + \text{N}_2$ розплав солі продувають окисником (вуглекислим газом, повітрям та ін.). Зручно застосовувати продування повітрям, яке подається через пристосування, що має в кінці кільцеподібну форму з отворами діаметром близько 0,5 мм, розміщену на дні тигля. Трубку виготовляють так само, як і тигель, з титану [7, 27].

Для запобігання розвитку відновних реакцій необхідно продування ванни повітрям починати зразу ж після розплавлення солі. Витрату повітря встановлюють із розрахунку порядку $10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 кг солі у розплаві. Для індивідуального обслуговування ванни карбонітрації можуть бути використані універсальний мембранний компресор УК1М або, ще краще, мембранний компресор типу КВ-10. Контроль витрати повітря здійснювати ротаметром РС-3А або РС-3 продуктивність відповідно до 50 і понад $50 \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Для впровадження технологічного процесу карбонітрації рекомендується 2 варіанти, що наведені в таблиці 3.1

Для регенерації осаду ванни і його знешкодження рекомендовані добавки мелану або меламіну, їдкий натрій, нітрат натрію (бажано у компактному вигляді), для окиснення виникаючих у розплаві ціанідів уводиться аерація розплаву. Впровадження процесу дозволяє ліквідувати щоденне вичерпання частини солі для підтримки робочого складу ванни, скоротити цикл обробки і витрату солей;

понижити витрати на нейтралізацію стічних вод. Стійкість карбонірованого інструменту зростає більш ніж удвічі [7, 27].

Після карбонітрації стійкість різального інструменту: різців, зенкерів, свердел, розгорток, фрез із швидкорізальних сталей Р18, Р6М5 – збільшується в 1,5 - 6 разів. Собівартість карбонітрації становить 1 – 3 % вартості інструменту. Процес характеризується високою продуктивністю, простотою, технологічністю і застосуванням нетоксичних солей. Процес може бути впроваджений у термічному цеху або ділянці на будь-якому машинобудівному заводі. Процес впроваджений на багатьох підприємствах [7, 26, 27].

Таблиця 3.1

Процеси карбонітрації [7, 27]

Варіант I	Варіант II
1. Знежирення. Гарячий розчин 3 %	1. Знежирення. Гарячий розчин 3 %
2. Підігрівання, 300-350 °С. Повітряна атмосфера.	2. Підігрівання, 300-350 °С. Повітряна атмосфера.
3. Нагрівання, 540-560 °С. Соляна ванна, продування повітрям.	3. Нагрівання, 540-560 °С. Соляна ванна, продування повітрям.
4. Охолодження на повітрі до 150 °С	4. Перенесення у розплав
5. Вороніння, 140 °С розчинів.	5. Стабілізація, 250-300 °С
6. Промивка у гарячій воді. Склад розчину (Т = 140 °С) NaOH. 550-600 г/л KNO ₂ . 150-200 г/л	6. Промивка у гарячій воді. Склад розчину (Т = 300 °С) NaOH. 75 % KNO ₂ . 25 %

Пропонована в роботі термічна обробка для сталі Р6М5 наступна. Перед випробуваннями зразки зі сталі Р6М5 піддавали типовій термічній обробці гартування від температури 1120 °С + двохкратний відпуск

притемпературі 550 °С. А третій останній традиційний цикл відпуску було замінено на карбонітрацію (рис. 3.2).

Хіміко-термічну обробку проводили в порошковому середовищі, яке складалось із вугілля, соди Na_2CO_3 і калія залізоціаністого $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ при температурах 450; 500 і 550 °С протягом 1-1,5 години.

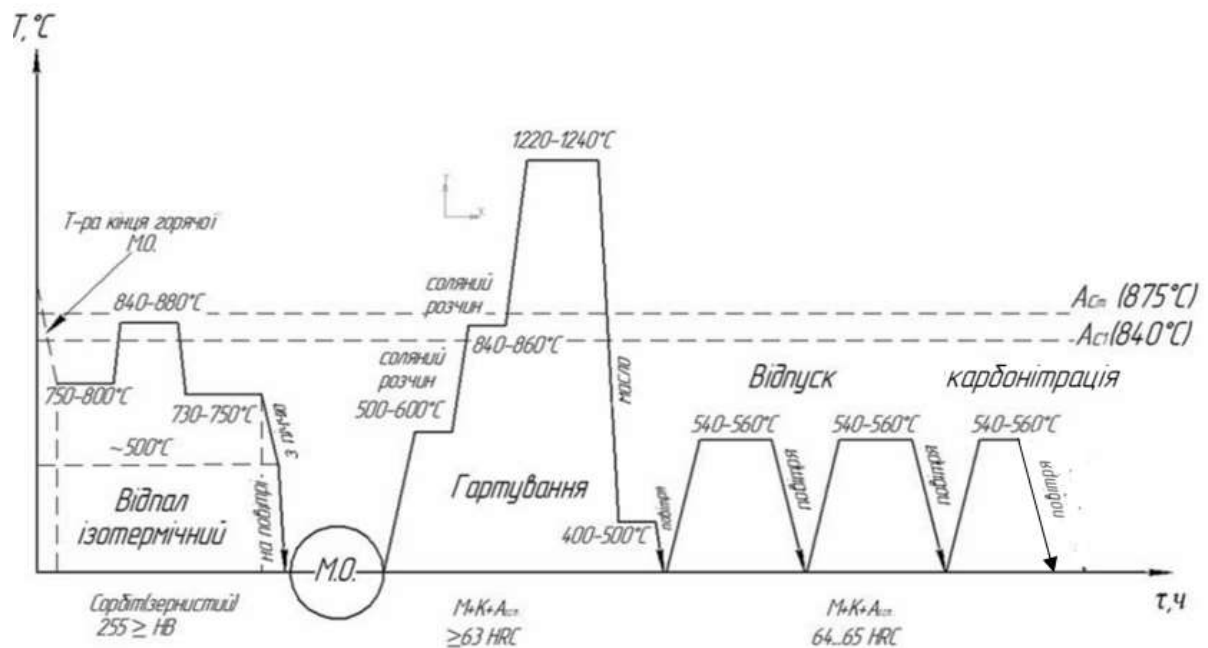


Рисунок 3.2 – Графік пропонуваної термічної обробки при одній із досліджуваних температур 550 °С

3.5 Обговорення результатів дослідження

Металографічні дослідження структур, отриманих в результаті застосування хіміко-термічної обробки, були виконані за допомогою оптичного мікроскопа МИМ-7. Заміри мікротвердості виконували на мікротвердомірі ПМТ-3 з доданим навантаженням 0,5 Н.

Після аналізу мікроструктур дифузійних шарів (рис. 3.3) видно, що кількість, форма і характер розподілу карбонітридних включень в шарах, отриманих при різних температурах обробки, відрізняються. Збільшення температури проведення процесу насичення призводить до отримання дифузійних шарів з великою кількістю

карбідних і карбонітридних включень, що мають менші розміри і більш округлу форму.

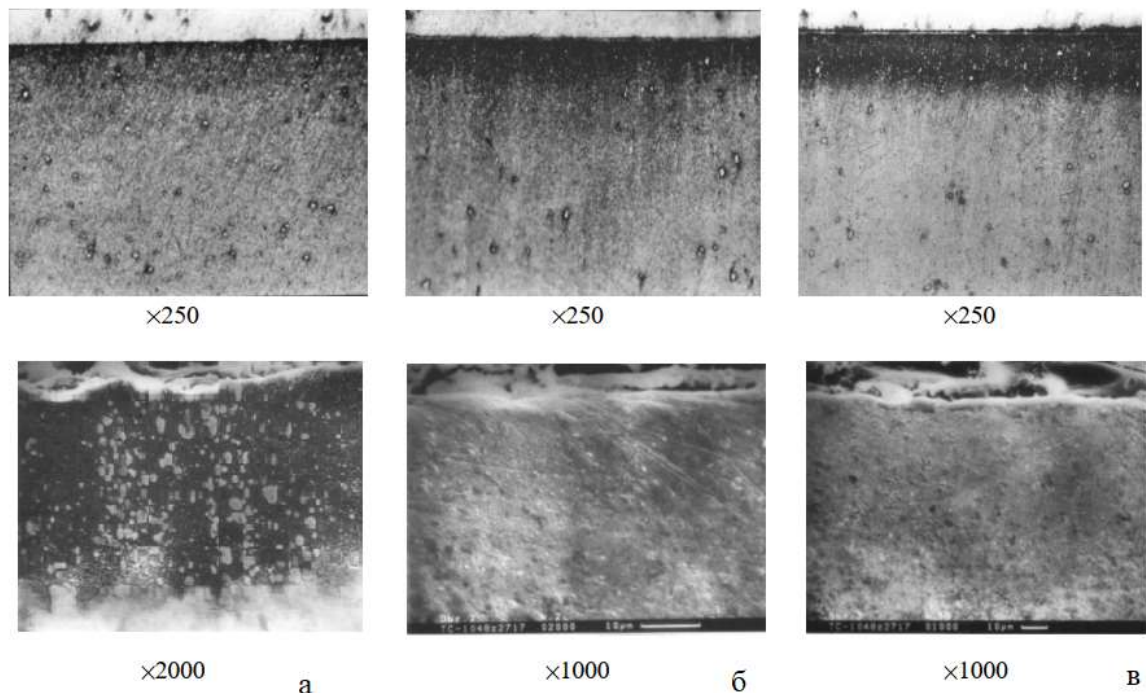


Рисунок 3.3 – Мікроструктура карбонітридного шару на сталі Р6М5, час – 1-1,5 год.: температура насичення становить 450 °С (а); б - 500 °С (б); 550 °С (в)

Зі збільшенням температури процесу карбонітрації до 550 °С зростає загальна кількість карбідних і карбонітридних частинок, при цьому збільшується кількість дрібних частинок в дифузійному шарі.

Дослідження з вивчення впливу умов проведення термодифузійної карбонітрації на твердість покриттів, що формуються на сталі Р6М5, показали, що характер ходу кривих зміни мікротвердості по глибині шару при різних температурах термодифузійної обробки не змінюється. Як видно з рис. 3.4, максимальні значення мікротвердості карбонітридного шару на сталі Р6М5 має в поверхневих зонах шару, потім плавно зменшується від поверхні в глиб зразка до твердості серцевини, відповідної 8300 МПа при всіх досліджуваних температурах обробки. Збільшення температури проведення процесу карбонітрації дозволяє підвищити поверхневу твердість від 10050-

11450 МПа при 450 °С до 13400-15250 Мпа при 550 °С і протяжність зони підвищеної твердості від 80 до 120 мкм.

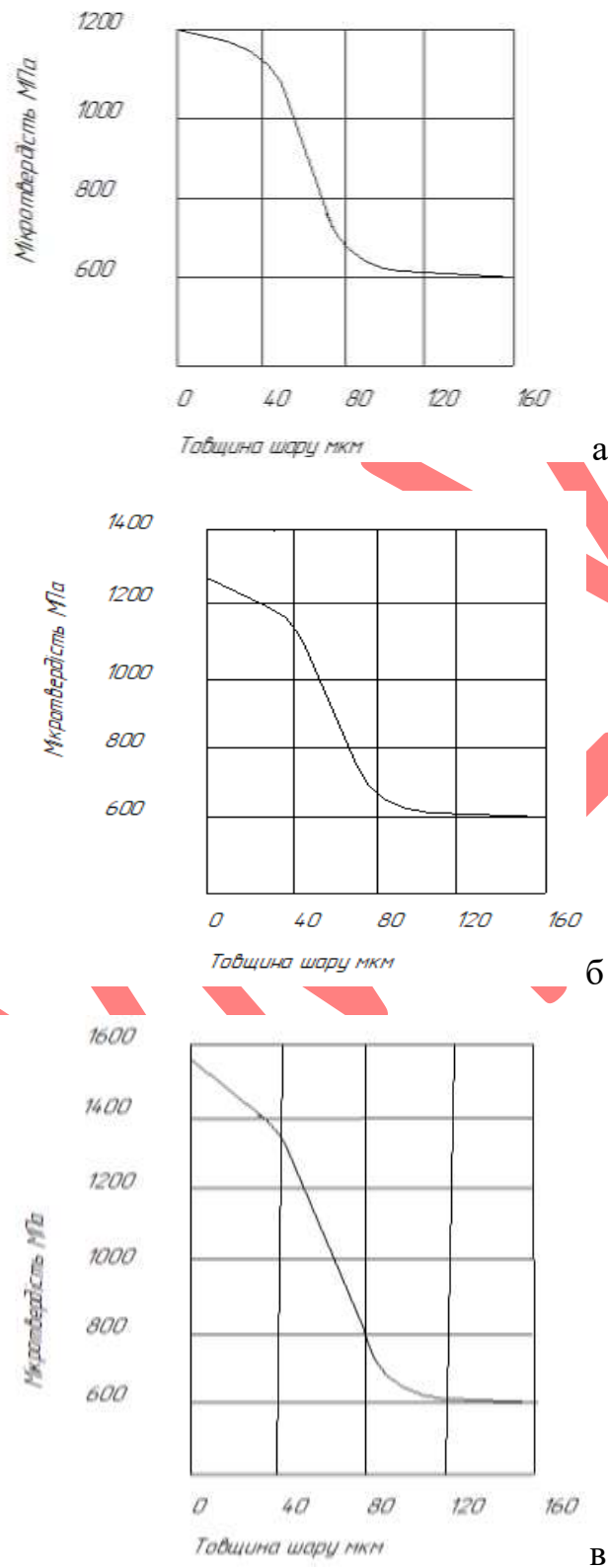


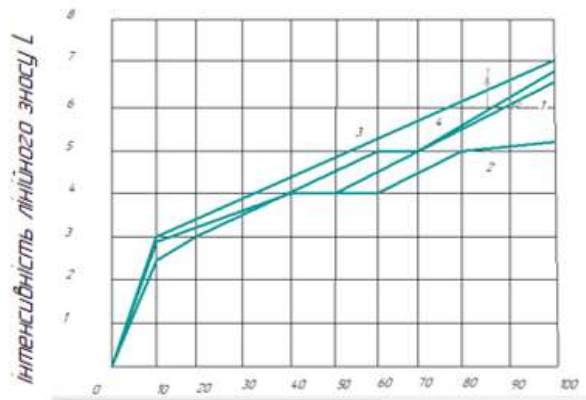
Рисунок 3.4 – Розподіл мікротвердості по товщині карбонітридного шару на сталі P6M5: 450 °С (а); 500 °С (б); 550 °С (в)

Проведений кількісний мікрорентгеноспектральний аналіз на дифрактометрі Дрон 4.07 із застосуванням мідного випромінювання $\text{CuK}\alpha$, показав, що ϵ -карбонітрид, який є основною фазою дифузійного шару, легований молібденом, вольфрамом, ванадієм і хромом. Хром є основним легуючим елементом ϵ -карбонітрида, підвищує його стабільність, твердість і зносостійкість. Як відомо [20], хром в сталі Р6М5 рівномірно перерозподіляється між структурними складовими, тобто 50 % від його вмісту в сталі знаходиться в карбідній фазі, причому не в спеціальних карбідах хрому, а в якості легуючого елемента в цементиті, і 50 % хрому – в α -фазі. ϵ -карбонітрид утворюється, як на базі α -фази, так і Fe_3C , наслідуючи атоми хрому з їх рівномірним розподілом в структурі. Встановлено, що збільшення температури насичення не позначається на розподілі хрому в дифузійному шарі. При цьому збільшення температури насичення призводить до зниження кількості вольфраму в дифузійному шарі і незначного зменшення кількості молібдену.

Визначення опору зносу проводили з використанням питомого навантаження 50 і 400 МПа. Швидкість зносу становила 0,56 м/с, час випробувань – 100 хв.

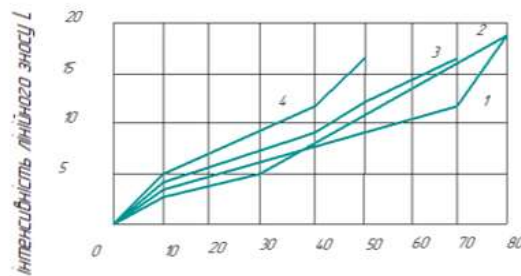
В результаті проведення процесу низькотемпературної карбонітрації зносостійкість швидкорізальної сталі може бути підвищена в 1,2 – 1,5 рази. Як видно з рис. 3.5, найкращі результати по зносостійкості досліджуваних покриттів отримані на зразках, карбонітрованих при температурах 450-500 °С, причому посилення режиму випробувань ще більше підкреслює тенденцію поліпшення зносостійкості на зразках, які пройшли процес обробки при більш низькій температурі. Незважаючи на те, що в даному випадку в карбонітридному шарі міститься найменша кількість дрібнодисперсних карбідів і карбонітридів і шар має найменшу мікротвердість, експлуатаційна стійкість даних покриттів максимальна. Найкращі результати показали мітчики, піддані карбонітрації при 450 °С. Наведені результати досліджень дозволяють припустити, що визначальний

вплив на зносостійкість карбонітридних покриттів, отриманих на сталі Р6М5 з порошкових безціаністих середовищ, надає хімічний і структурний склад покриттів.



Час випробувань, хв.

а



Час випробувань, хв.

б

Рисунок 3.5 – Залежність інтенсивності лінійного зносу швидкорізальної Р6М5 від часу випробувань: навантаження 50 МПа (а); 400 МПа (б); 1 – карбонірована сталь Р6М5 (450 °С); 2 - карбонірована сталь Р6М5 (500 °С); 3 - карбонірована сталь Р6М5 (550 °С); 4 - термооброблена сталь Р6М5

А саме при збільшенні температури карбонітрації від 450 до 550 °С в дифузійному шарі відбувається перерозподіл легуючих елементів - зменшується кількість вольфраму і молібдену. Крім цього, при підвищенні температури насичення збільшується товщина крихкої поверхневої оксикарбідної зони шару, яка в процесі експлуатації сколюється і, граючи роль абразиву, вносить додатковий руйнівний вплив.

Висновки

Карбонітрація – один із прогресивних процесів хіміко-термічної обробки, який полягає у поверхневому насиченні сталей азотом і вуглецем у розплаві ціанатів.

Проведення процесу низькотемпературної карбонітрації інструментальної сталі Р6М5 при температурі 450-550 °С в безціаністих порошкових середовищах дозволяє отримати дифузійні шари, що містять карбіди і карбонітриди з мікротвердістю від 10050-11450 до 13400-15250 МПа і протяжністю зони підвищеної твердості від 80 до 120 мкм. Максимальну мікротвердість мають шари, в яких присутні дрібні карбіди і карбонітриди, які мають кулясту форму, що характерно для покриттів, отриманих при 550 °С.

Найкращі результати по зносостійкості отримані на зразках зі сталі Р6М5, карбонітрованих при температурі 450 °С. Визначальний вплив на зносостійкість карбонітридних покриттів на сталі Р6М5 має хімічний і структурний склад покриттів: при збільшенні температури карбонітрації від 450 до 550 °С в дифузійному шарі відбувається перерозподіл легуючих елементів сталі – зменшується кількість вольфраму і молібдену, а також збільшується товщина крихкої поверхневої оксикарбідної зони шару. Ця зона в процесі експлуатації сколюється і, виконуючи роль абразиву, вносить додатковий руйнівний вплив. Вивчення впливу структурного складу дифузійних карбонітридних шарів на механічні властивості сталі Р6М5 показало відсутність кореляції між кількістю дрібнодисперсних частинок в дифузійних шарах і їх твердість і зносостійкість.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічні показники виробничої діяльності підприємства

Важливими показниками, що дають характеристику економічним результатам ефективної діяльності підприємств, є собівартість, продуктивність та рентабельність.

Собівартість продукції – це витрати підприємства на її виробництво і реалізацію, виражені в грошовій формі. Розрахунок і аналіз собівартості продукції є найважливішим завданням будь-якого підприємства і входить в систему управлінського обліку, тому що саме собівартість лежить в основі більшості управлінських рішень [28].

Витрати, утворюючи собівартість промислової продукції, за своїм характером не є однорідними й групуються за їхнім економічним змістом (за однорідністю елементів витрат) і за характером виникнення та призначення (за статтями витрат) [28].

Групування витрат за економічним змістом використовується при складанні кошторису витрат на виробництво.

Витрати за економічними елементами групуються наступним чином [28]:

- матеріальні витрати (за вирахуванням вартості зворотних відходів);
- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні потреби;
- амортизація основних фондів і нематеріальних активів;
- інші витрати.

Класифікація витрат за статтями калькуляції має істотну відмінність по галузях промисловості і відображає їхню специфіку.

Групування витрат за статтями калькуляції наступне [28]:

- сировина та матеріали (за вирахуванням відходів);

- купівельні напівфабрикати та комплектуючі вироби, роботи і послуги виробничого характеру сторонніх підприємств та організацій;
- паливо й енергія на технологічні цілі (за вирахуванням відходів);
- основна заробітна плата (виробничих робітників);
- додаткова заробітна плата (виробничих робітників);
- відрахування на соціальні заходи;
- витрати на підготовку та освоєння виробництва;
- витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- загальновиробничі витрати;
- згальногосподарські витрати.

Продуктивність праці – це кількість продукції, виробленої за певний період в розрахунку на одного працівника, або витрати робочого часу на одиницю продукції [28].

Треба розрізняти поняття продуктивності та інтенсивності праці. При підвищенні інтенсивності праці підвищується кількість фізичних і розумових зусиль в одиницю часу, і за рахунок цього збільшується кількість виробленої в одиницю часу продукції. Підвищення інтенсивності праці вимагає підвищення його оплати. Продуктивність праці підвищується в результаті зміни технології, застосування більш досконалого обладнання, застосування нових прийомів праці і не завжди вимагає підвищення заробітної плати [29].

Рентабельність – якісний вартісний показник, що характеризує рівень віддачі витрат або ступінь використання наявних ресурсів у процесі виробництва і реалізації продукції (товарів, робіт, послуг). У найширшому, найзагальнішому розумінні рентабельність означає прибутковість або дохідність виробництва і реалізації всієї продукції чи окремих її видів; дохідність підприємств, організацій, установ загалом як суб'єктів господарської діяльності; прибутковість різних галузей економіки [30].

Використовуючи для аналізу роботи підприємства абсолютний показник прибутку, досить важко дійти висновків про дохідність цього підприємства. Рентабельність же може засвідчити про економічну

ефективність, яка визначається як відношення прибутку до одного з вагомих показників функціонування підприємства. У процесі аналізу рентабельності досліджується рівень показників, їх динаміка, визначається система факторів, які викликають зміни цих показників. Різноманітність показників рентабельності визначає альтернативність пошуку шляхів її підвищення, внаслідок чого буде підвищуватись і ефективність роботи підприємства [30].

Показники рентабельності можливо об'єднати у декілька груп: показники, що характеризують окупність витрат виробництва та інвестиційних проектів; показники, що характеризують прибутковість реалізації; показники, що характеризують прибутковість капіталу та його частин [30].

Рентабельність обчислюється:

$$P_{\pi} = \frac{Ц - С}{С} \times 100 \quad (4.1)$$

де Ц – ціна одиниці продукції;

С – собівартість одиниці продукції.

Рентабельність виробництва обчислюється за формулою:

$$P_o = \frac{\Pi}{ОС_{ср} + ОбС_{ср}} \times 100 \quad (4.2)$$

де Π – сума прибутку, грн.;

$ОС_{ср}$ – середньорічна вартість основних виробничих фондів, грн.;

$ОбС_{ср}$ – середні за рік залишки оборотних коштів, грн.

Прибуток – це та частина додаткової вартості продукту, яка залишається після покриття витрат виробництва. Відокремлення частини

вартості продукції у вигляді витрат у грошовому вираженні є собівартістю продукції [31].

4.2 Розрахунок собівартості дослідної роботи

Для визначення собівартості карбонітрації проводимо розрахунок витрат.

Вартість сталі зразка розраховуємо за наступною формулою 4.3:

$$C_m = (Q \cdot C_m) \cdot a, \quad (4.3)$$

де Q – норма витрати матеріалу (у нашому випадку маса зразка 0,2 кг);

C_m – ціна матеріалу (для сталі Р6М5 – 65 грн./кг);

a – коефіцієнт витрат на термообробку (приймаємо 1,5).

$$C_m = (0,2 \cdot 75) \cdot 1,5 = 19,50 \text{ грн.}$$

Основну та додаткову заробітну плату працівника з відрахуванням на соціальне страхування, до інших фондів розраховуємо за наступною формулою 4.4:

$$Z_p = C_{\text{ч}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{t_{\text{шт}}}{60} \cdot K_{\text{мн}} \cdot n, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{ч}}$ – погодинна тарифна ставка працівника з відповідним розрядом (обираємо IV розряд - 30 грн./год.);

K_1 – коефіцієнт на додаткову заробітну плату (1,8);

K_2 – коефіцієнт на багатостатне обслуговування (1,6);

$t_{\text{шт}}$ – час на операцію для обробки 1 шт. заготовки, хв.;

$K_{\text{мн}}$ – коефіцієнт на обслуговування декількох одиниць обладнання (1);

n – кількість одиниць обладнання для проведення дослідної роботи,

шт.

Карбонітрація зразків зі сталі Р6М5 склала 1,5 годин,

$$Зр = 30 \cdot 1,8 \cdot 1,6 \cdot (90/60) \cdot 1 \cdot 1 = 129,60 \text{ грн.}$$

На партію 50 садок/рік – $Зр = 6\,480$ грн.

Третій відпуск склав 1 годину

$$Зр = 30 \cdot 1,8 \cdot 1,6 \cdot (60/60) \cdot 1 \cdot 1 = 86,40 \text{ грн.}$$

На партію 50 садок/рік – $Зр = 4320$ грн.

Амортизація основних засобів (печі) розраховується за формулою 4.5:

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{\text{річ.}} \cdot 100} \quad (4.5)$$

де S_0 – вартість печі, грн.;

K – коефіцієнт витрат на транспортування, монтаж печі (приймаємо 1,2);

a – амортизаційні відрахування (15% від вартості печі);

n – кількість одиниць печей на дану операцію (1 шт.);

$N_{\text{річ.}}$ – річна програма зразків (500 шт.)

В дослідній роботі карбонітрація проводилася в печі СШЦМ-8.26/10, а відпуск в печі СШО за ціною вартість печі становлять $\sim 25\,000$ грн.

У обох операціях витрати складатимуть:

$$A_0 = (25\,000 \cdot 1,2 \cdot 3750 \cdot 1) / (500 \cdot 100) = 2250 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт печей приймаємо пропорційно амортизаційним відрахуванням, розрахунок проводимо за формулою 4.6:

$$B_p = A_0 \cdot K, \quad (4.6)$$

де A_0 – витрати на амортизацію основних засобів, грн.;

K – коефіцієнт залежності величини витрат на ремонт від величини витрати на амортизацію (20 %).

Витрати складають :

$$B_p = 2\,250 \cdot 2,0 = 4\,500 \text{ грн.}$$

Витрати на силову електроенергію по даним операціям проводимо за формулою 4.7:

$$E = [K_1 \cdot N_y \cdot (t_{шт} - t_{маш}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{маш}] \cdot (S_e/60), \quad (4.7)$$

де K_1 – коефіцієнт застосування певної потужності, що використовується при ненапруженій роботі печі ($K_1 = 0,3$)

N_y – сумарна потужність одиниці обладнання (печі), 60 кВт;

$t_{шт}$ – час на операцію для одного зразка, хв.;

$t_{маш}$ – машинний час, хв. ($t_{маш} = 0,20$ хв.);

K_2 – коефіцієнт застосування певної потужності печі в процесі хіміко-термічної обробки ($K_2 = 0,7$);

S_e – вартість 1 кВт/год. електроенергії, грн. ($S_e = 1,8$ грн.)

Карбонітрація зразків:

$$E = [0,3 \cdot 70 \cdot (90 - 0,20) + 0,7 \cdot 70 \cdot 0,20] \cdot (1,8/60) = 56,86 \text{ грн.}$$

На партію 50 садок/рік: $194,54 \cdot 50 = 2843$ грн.

Відпуск

$$E = [0,3 \cdot 70 \cdot (60 - 0,20) + 0,7 \cdot 70 \cdot 0,20] \cdot (1,8/60) = 23,54 \text{ грн.}$$

На партію 50 садок/рік: $194,54 \cdot 50 = 1177,08$ грн.

Витрати на допоміжні матеріали для кожної операції визначаємо за формулою 4.8:

$$B_m = \frac{M \cdot n}{N_{річ.}} \quad (4.8)$$

де M – річні витрати на допоміжні матеріали на одне обладнання;

n – кількість обладнання, шт.;

$N_{\text{річ.}}$ – річна програма деталей, шт.

Для карбонітрації використовуємо суміш порошоків: деревне вугілля $M_1 = 2500$ грн., соду $M_2 = 1000$ грн. і калій залізоціаністий $M_3 = 2000$ грн.;
Приймаємо $M = 5500$ грн.

$$V_m = \frac{5\,500 \cdot 1}{500} = 11 \text{ грн.}$$

На партію 40 садок/рік: $11 \cdot 50 = 550$ грн.

Відпуск не потребує допоміжних витрат на матеріали

Результати, отримані в розрахунках оформлюємо у таблицю 4.1.

Собівартість проведення процесу карбонізації, та відпуску грн

Статті витрат	Карбонітрація, грн.	Відпуск грн.
Основна і додаткова заробітна плата працівника	6480	4320
Амортизація основних засобів	2250	2250
Витрати на ремонт печей	4500	4500
Витрати на силову електроенергію	2843	1177
Витрати на допоміжні матеріали	550	-
Разом	14373	12187

З розрахунків видно, що процес карбонітрації має більші витрати, ніж процес відпуску, але за рахунок карбонітрації зносостійкість підвищується в 1,3 - 1,5 рази, тому доцільніше використовувати карбонітрацію.

Висновки

В данном розділі було розглянуто такі поняття, як собівартість, продуктивність, рентабельність.

Собівартість продукції – це витрати підприємства на її виробництво і реалізацію, виражені в грошовій формі. Розрахунок і аналіз собівартості продукції є найважливішим завданням будь-якого підприємства і входить в систему управлінського обліку, тому що саме собівартість лежить в основі більшості управлінських рішень

Для визначення собівартості процесу карбонітрації були проведені розрахунки:

- основної та додаткової заробітної плати працівника;
- амортизаційних відрахувань;
- витрат на ремонт обладнання;
- витрат на силову електроенергію;
- витрат на допоміжні матеріали.

З розрахунків видно, що процес карбонітрації має більші витрати, ніж процес відпуску, але за рахунок карбонітрації зносостійкість підвищується в 1,3 - 1,5 рази, тому доцільніше використовувати карбонітрацію.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Основні поняття з охорони праці

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання.

Одне з них – це інженерно-технічне, яке передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом: заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними, переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання, проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці, розробки засобів індивідуального та колективного захисту [32].

Друге – соціальне, що пов'язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав [32].

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки. Структурно охорона праці включає у себе: правові та організаційні основи охорони праці; фізіологію, гігієну праці та виробничу санітарію; -виробничу безпеку; пожежну безпеку та профілактику на виробництві [32].

Кодекс законів про працю України регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя працівників, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства і в першу життєву потребу кожної працездатної людини. Законодавство про працю встановлює високий рівень умов праці, всебічну охорону трудових прав працівників [32].

Згідно статті 6 Закону України «Про охорону праці»[33]:

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля. Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. Факт наявності такої ситуації за необхідності підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представника профспілки, членом якої він є, або уповноваженої працівниками особи з питань охорони праці (якщо професійна спілка на підприємстві не створювалася), а також страхового експерта з охорони праці [33].

Працівника, який за станом здоров'я відповідно до медичного висновку потребує надання легшої роботи, роботодавець повинен перевести за згодою працівника на таку роботу на термін, зазначений у медичному висновку, і у разі потреби встановити скорочений робочий день та організувати проведення навчання працівника з набуття іншої професії відповідно до законодавства [33].

Згідно статті 7 Закону України «Про охорону праці» [33]:

Працівники, зайняті на роботах з важкими та шкідливими умовами праці, безоплатно забезпечуються лікувально-профілактичним харчуванням, молоком або рівноцінними харчовими продуктами, газованою солоною водою, мають право на оплачувані перерви санітарно-оздоровчого призначення, скорочення тривалості робочого часу, додаткову оплачувану відпустку, пільгову пенсію, оплату праці у підвищеному розмірі та інші пільги і компенсації, що надаються в порядку, визначеному законодавством [33].

Протягом дії укладеного з працівником трудового договору роботодавець повинен, не пізніше як за 2 місяці, письмово інформувати працівника про зміни виробничих умов та розмірів пільг і компенсацій, з урахуванням тих, що надаються йому додатково [33].

Згідно статті 13 Закону України «Про охорону праці» [33]:

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [33].

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а саме [33]:

- створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх додержання;

- розробляє за участю сторін колективного договору і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;

- забезпечує виконання необхідних профілактичних заходів відповідно до обставин, що змінюються;

- впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечує належне утримання будівель і споруд, виробничого обладнання та устаткування, моніторинг за їх технічним станом;

- забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів, визначених комісіями за підсумками розслідування цих причин;

- організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, оцінку технічного стану виробничого обладнання та устаткування, атестацій робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці в порядку і строки, що визначаються законодавством, та за їх підсумками вживає заходів до усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;

– розробляє і затверджує положення, інструкції, інші акти з охорони праці, що діють у межах підприємства (далі - акти підприємства), та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці, забезпечує безоплатно працівників нормативно-правовими актами та актами підприємства з охорони праці;

– здійснює контроль за додержанням працівником технологічних процесів, правил поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням робіт відповідно до вимог з охорони праці;

– організовує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками у галузі охорони праці;

– вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, залучає за необхідності професійні аварійно-рятувальні формування у разі виникнення на підприємстві аварій та нещасних випадків [33].

Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог [33].

5.2 Потенційні небезпечні та шкідливі виробничі фактори на ділянках термічних цехів

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

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами є: пил дезінтеграції і конденсації, пари і гази, надлишкова теплота, підвищений рівень шуму і вібрації, електромагнітні випромінювання, рухомі машини і механізми, рухомі частини обладнання, ультразвук [34].

До фізичних факторів належать: підвищена температура повітря робочої зони, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищені або знижені вологість і рухливість повітря, небезпечний рівень напруги в електричних колах обладнання, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, шуму та вібрації на робочому місці, рухомі машини і механізми, переміщувані вироби та матеріали [34].

До хімічних факторів відносяться загально токсичні, дратівливі, канцерогенні [34].

Психофізіологічні чинники включають фізичні і нервово-психологічні перевантаження [34].

Робочою зоною необхідно вважати простір висотою до двох метрів над рівнем підлоги або майданчика, на яких знаходяться робочі місця. Якщо обслуговування процесів виробництва здійснюється в різних місцях робочої зони, постійним робочим місцем є вся робоча зона [34].

Склад і температура атмосфери термічного цеху в великій мірі залежать від видів застосовуваних технологічних процесів, типів обладнання. Важливе значення має справність і належний режим роботи загальної та місцевої вентиляційних систем, а також необхідна аерація цеху [34].

Оскільки в термічних цехах основним видом устаткування є нагрівальні печі і пристрої (установки індукційного нагріву, газополум'яні установки), то і температурні умови в цеху і на робочих місцях залежать від їх типу, особливостей конструкції і дотримання умов нормальної експлуатації [34].

Нагрівання атмосфери цеху випромінюванням може відбуватися внаслідок несправності і негерметичності печей, при різноманітних порушеннях правил експлуатації обладнання (наприклад, при роботі печей-ванн з відкритими кришками) [34].

Втрати тепла через стінки і склепіння печі можна істотно знизити, застосовуючи теплоізоляційний шар достатньої товщини. Однак при цьому потрібно мати на увазі, що теплоізоляційні матеріали можуть витримувати

температуру тільки до певної межі, що вимагає збільшення товщини внутрішньої вогнетривкої кладки (футерування) [34].

Істотний вплив на температуру цеху мають оброблювані деталі, які після нагрівання в печі вивантажуються для проведення подальших операцій, наприклад гартування, охолодження до внутрішньої цехової температури при нормалізації, після відпуску та інші [34].

Тому всі нагріті після термічної обробки деталі необхідно розміщувати в місцях, обладнаних ефективною витяжною вентиляцією, або в спеціально обладнаних приміщеннях. та швидкість руху повітря під дією природної і штучної вентиляції [34].

Для проєктованих промислових підприємств санітарними нормами СН 245-71 [35] передбачені оптимальні та допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря для виробничих приміщень з різним надлишком явного тепла, наведені рекомендовані швидкості руху повітря при повітряному душуванні робочої зони в залежності від категорії роботи, інтенсивності теплового опромінення і температури повітря [36].

Пило- та газовиділення. За умовами роботи термічного цеху в ньому неминуче відбувається виділення пилу і газів. Атмосферне повітря зазвичай містить близько 78% азоту, 21% кисню, 0,9% інертних газів, 0,08% вуглекислого газу і незначна кількість інших домішок. В атмосфері такого складу забезпечується нормальна життєдіяльність людського організму [35, 36].

Зміни в складі атмосфери термічного цеху можуть викликатися виходом продуктів горіння палива через відкриті вікна і нещільності печей, випаровуванням розплавлених солей з печей-ванн, витоком газів з печей для хіміко-термічної обробки, а також з печей із захисною атмосферою, випаровуванням масла і виділенням продуктів його згоряння з гартівних масляних баків, виділенням газів, що утворюються при згорянні різних забруднень, неминуче наявних на поверхні виробів, що піддаються термічній обробці у печах. Деякі з газів, що утворюються, є токсичними (наприклад,

ціаністий водень), інші чинить подразнюючу дію на дихальні шляхи (наприклад, аміак). Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (ГДК) в повітрі робочої зони визначаються ССБТ (ГОСТ 12.1.005-76) [37].

Запилення атмосфери цеху частинками твердих матеріалів, присутніх в атмосфері у вигляді аерозолів, відбувається різними шляхами: внесенням частинок пилу разом з повітрям, що поступає в цех завдяки аерації, внаслідок застосування в цеху сипучих матеріалів і матеріалів, які легко дробляться (наприклад, вогнетривкі і теплоізоляційні матеріали, засипки для хіміко-термічної обробки), забрудненнями на поверхні деталей, що надходять в цех на обробку, застосуванням різноманітних технологічних матеріалів (карбюризатор, солі, пісок). Деякі з цих речовин, присутні в повітрі у вигляді аерозолів, також є шкідливими. У виробничих умовах шуми сприймаються людським вухом через повітряне середовище у вигляді звуків різної сили і тону (висоти). Допустимі рівні шуму на робочих місцях і загальні вимоги щодо захисту від шуму передбачені ССБТ (ГОСТ 12.1.003-83) [38].

5.3 Вимоги з охорони праці до працівників, що працюють на термічних ділянках та цехах

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці, з надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії [33].

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити за рахунок роботодавця спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці [33].

Працівник зобов'язаний [33]:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;

- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;

- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди [33].

Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог [33].

Для забезпечення від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт працівники повинні застосувати засоби індивідуального захисту. Основними засобами індивідуального захисту при процесах термічної обробки є: спеціальне взуття, спеціальний одяг, окуляри, респіратори [39].

При роботі з кислотами і лугами слід застосовувати захисні дерматологічні засоби для рук: плівкоутворювальні пасту, крем та рукавички. Для захисту обличчя і очей від бризок розплавлених солей і енергії випромінювання необхідно застосовувати металеву сітку з осередками 0,8x0,8 мм, у якій на рівні очей вставлене органічне скло розміром 80x80 мм і завтовшки 3 мм, вигнуте по овалу обличчя [39].

Засоби індивідуального захисту, що застосовуються працівниками при термообробці металів, повинні задовольняти вимоги відповідних стандартів безпеки праці по конкретних видах захисту. Класифікація і загальні вимоги до засобів захисту працівників наведені в ГОСТ 12.4.011-89 [39, 40].

5.4 Техніка безпеки печей при проведенні процесу карбонітрації

При проведенні процесу карбонітрації експлуатації печей повинні бути дотримані наступні вимоги безпеки [41].

1. Всі струмоведучі частини електропечей, з якими можливе зіткнення обслуговуючого персоналу, повинні бути ізольовані або огорожені [41].

2. Щити керування електропечей повинні бути закритого типу. Допускається влаштування відкритих щитів панельного типу, але тільки в спеціально відведених для них ізольованих приміщеннях з вікнами для спостереження за приладами. На щитах і пультах управління електропечей повинна бути світлова сигналізація про подачу напруги на нагрівальні елементи і про роботу блокувальних пристроїв [41].

3. Електропечі з ручним завантаженням і розвантаженням деталей повинні бути обладнані блокувальними пристроями для автоматичного зняття напруги з нагрівальних елементів при відкриванні дверцят печі [41].

4. Усі струмопровідні частини електропечей повинні бути ізольовані або огорожені. Огороджувальні пристрої та інші металеві струмоведучі частини повинні бути заземлені [41].

5. В електропечах з примусовою циркуляцією робочої атмосфери, в якій не виключається викид гарячого газу через відкритий отвір, повинен бути передбачений блокувальний пристрій, що відключає живлення електродвигунів пічних вентиляторів перед відкриттям дверцят або кришки [41].

6. У печах з механізованим підйомом і опусканням дверцят або заслінок робочих вікон або кришок повинна бути забезпечена можливість зупинки дверцят в будь-якому проміжному положенні, автоматична зупинка механізму підйому і опускання в кінцевих положеннях і виключена можливість падіння дверцят при відключенні механізму [41].

7. Печі повинні мати автоматичне регулювання температури. При підвищенні температури вище встановленої, повинні включатися світлові і звукові сигнали [41].

8. Робочі площадки, розташовані над склепінням електропечі, повинні бути теплоізовані [41].

9. Завантаження, розвантаження, огляд, ремонт, очищення електропечей повинні здійснюватися при повністю знятій нарузі, щоб уникнути короткого замикання і ураження електричним струмом [41].

10. Вся група електропечей повинна мати аварійний вимикач, який має відповідний напис і розміщений по зможі ближче до печей. Доступ до аварійного вимикача повинен бути завжди вільний [41].

Періодично (згідно затвердженого графіку на підприємстві) на електропечах проводять технічний огляд та визначають стан механізмів, деталей, прокладок та інших приладів [41].

5.5 Охорона навколишнього середовища та довкілля

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є [42]:

- пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
- гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;
- запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;
- екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;
- збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;

- науково обгрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природничих і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;

- обов'язковість оцінки впливу на довкілля;

- гласність і демократія при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;

- науково обгрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;

- безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;

- компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

- вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної змінності територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;

- поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;

- вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища на основі широкого міждержавного співробітництва;

- встановлення екологічного податку, рентної плати за спеціальне використання води, рентної плати за спеціальне використання лісових ресурсів, рентної плати за користування надрами відповідно.

Метою управління в галузі охорони навколишнього природного середовища є реалізація законодавства, контроль за додержанням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних і комплексних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, досягнення узгодженості

дій державних і громадських органів у галузі охорони навколишнього природного середовища [42].

Екологічна безпека є такий стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей [42].

Підприємства, установи й організації, діяльність яких пов'язана з шкідливим впливом на навколишнє природне середовище, незалежно від часу введення їх у дію повинні бути обладнані спорудами, устаткуванням і пристроями для очищення викидів і скидів або їх знешкодження, зменшення впливу шкідливих факторів, а також приладами контролю за кількістю і складом забруднюючих речовин та за характеристиками шкідливих факторів [42].

При проектуванні й експлуатації господарських та інших об'єктів, діяльність яких може шкідливо впливати на навколишнє природне середовище, повинні розробляються і здійснюються заходи щодо запобігання аваріям, а також ліквідації їх шкідливих екологічних наслідків [42].

У разі аварії, що спричинила забруднення навколишнього природного середовища, підприємства, установи, організації зобов'язані негайно приступити до ліквідації її наслідків. Одночасно посадові особи або власники підприємств, керівники установ і організацій зобов'язані повідомляти про аварію і заходи, вжиті для ліквідації її наслідків, виконавчому комітету сільської, селищної, міської ради, центральному органу виконавчої влади, що забезпечує реалізацію державної політики у сфері санітарного та епідемічного благополуччя населення [42].

Висновки

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

При хіміко-термічній обробці виникають шкідливі виробничі фактори, фізичні, хімічні психофізіологічні.

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

Саме тому працівники повинні дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства, тому необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту

У разі аварії на підприємстві, що спричинила забруднення навколишнього природного середовища, потрібно негайно приступити до ліквідації її наслідків.

ВИСНОВКИ

1. В магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено вплив процесу карбонітрації на структуру й механічні властивості швидкорізальної сталі Р6М5, яка широко застосовується в машинобудуванні, для виготовлення ріжучих елементів, що повинні мати високу твердість, міцність та зносостійкість.

2. Було проведено ретельний огляд літератури, статей і патентів, на підставі якого можна зробити позитивні висновки щодо застосування карбонітрації для підвищення зносостійкості сталей, які забезпечують високу надійність та продуктивність виробам, тим самим призводить до підвищення якості виробів та зниженню витрат на матеріали.

3. Для підвищення зносостійкості сталі Р6М5 обрана карбонітрація, проводили в порошковому середовищі, що складалось із вугілля, соди і калія залізоціаністого при температурах 450; 500 і 550 °С протягом 1-1,5 години.

4. Найкращі результати по зносостійкості отримані на зразках зі сталі Р6М5, карбонітрованих при температурі 450 °С. Визначальний вплив на зносостійкість карбонітридних покриттів на сталі Р6М5 має хімічний і структурний склад покриттів: при збільшенні температури карбонітрації від 450 до 550 °С в дифузійному шарі відбувається перерозподіл легуючих елементів сталі – зменшується кількість вольфраму і молібдену, а також збільшується товщина крихкої поверхневої оксикарбідної зони шару.

5. Проведені розрахунки економічної ефективності показали, що витрати енергоспоживання зменшуються за рахунок того, що процес карбонітрації триває всього 1,5 год, тим самим заощаджуємо кошти.

6. В роботі проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори на дільницях, де проводяться процеси хіміко-термічні обробки, розглянуті правила безпеки працівників термічних цехах та техніка експлуатації печей, заходи щодо захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів та відходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сурус А. И. Особенности выбора технологии поверхностного упрочнения для повышения надежности и долговечности деталей лесных машин/ Сурус А. И. , Бельский С. Е., Царук Ф. Ф.// Труды БГТУ. – 2014. - №2. – С. 209-213.
2. Основные виды химико-термической обработки – цементация, азотирование, карбонитрация. [Электронный ресурс].– Режим доступа до ресурсу: <https://www.navigator-beton.ru/articles/vidy-himiko-termicheskoy-obrabotki.html>.
3. Цих С.Г. Опыт применения карбонитрации стальных деталей и инструмента в машиностроении/ Цих С.Г., Гришин В.И., Лисицкий В.Н // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова- 2008 .- № 4 .- С. 32-38.
4. Упрочнение режущего инструмента методом карбонитрации в газообразных продуктах [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://delta-grup.ru/bibliot/6/35.htm>.
5. Коротков В. А., Ананьев, С. П., Злоказов М. В. Износостойкость сталей с плазменной закалкой и карбонитрацией : монография – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – С. 104.
6. Сігова В.І., Руденко П.В. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с.
7. Мартиненко, Є.М. Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «циліндрична фреза» [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 6.050403 – інженерне матеріалознавство / Є.М. Мартиненко; наук. керівник Т.П. Говорун. - Суми: СумДУ, 2019. - 69 с.
8. Долгих А.М. Повышение стойкости сверл из быстрорежущей стали низкотемпературной нитроцементацией/ А.М Долгих // Промышленность - Прикладные науки - Машиностроение. - 2012. - №14. – С. 91-94.

9. Кухарева Н. Г. Механические свойства инструментальных сталей с диффузионными карбидными и карбонитридными покрытиями/ Кухарева Н. Г., Петрович С. Н., Галынская Н. А// *Металлургия- Металлообработка – Машиностроение - Вестник БНТУ . – 2007. - № 5.- С. 15-20.*
10. Effect of Liquid Salt Bath Nitrocarburizing on Mechanical / Properties of Low-Alloy Sintered Steels//S. Serrai, S. Mechachti, O. Benchiheub, S. Boudebane , M. Fellah , and M. Z. Touhami. - 2018. - №4. – P. 515 -527.
11. Мацевитый В.М., Казак И.Б. , Спольник А.И. Влияние лазерной обработки, карбонитрации и их сочетания с вакуумно-плазменным покрытием TiN на некоторые свойства стали P6M5. – 2001. - № 2. – С. 137-141.
12. Степанчукова А.В., Приймак Е.Ю., Яковлева И.Л., Терещенко Н.А., Михеева М.Н., Чирков Е.Ю. Оценка воздействия карбонитрации на положение порога хладноломкости в среднеуглеродистых легированных сталях. – 2017. - № 4 (42). – С. 141- 148.
13. Пинаев Д. В., Леушин И. А. Практическое применение карбонитрации. – 2017 – С. 81-84.
14. Константинов В. М., Ковальчук А. В., Дашкевич В. Г. Свойства двухслойных износостойких покрытий «Термодиффузионный слой — TiAlN» на сталях. – 2016. – № 2. - С. 213- 224.
15. Кухарева Н. Г., Петрович С. Н., Протасевич В. Ф. Исследование износостойкости карбидных и карбонитридных покрытий на легированных сталях. – 2013. - №6. – С. 17-19.
16. Ковальчук А. В., Севченко С. В., Комаров Ф. Ф, Ткаченко Г. А. Комплексное поверхностное упрочнение стальных изделий. – 2014. – С. 144 - 150.
17. Патент, № 6453. Состав для химико-термической обработки нержавеющей сталей / Н. Г. Кухарева, Г. В. Стасевич, С. Н. Дата публікації: 2004.09.30.

18. Патент, № 7760. Состав для карбонитрации быстрорежущих сталей/ Н. Д. Евлашов, С. Н. Петрович, Н. Г. Дата публікації: 28.02.2006.

19. Повышение стойкости режущего инструмента карбонитрированием [Электронный ресурс].– Режим доступа до ресурсу: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=30528>.

20. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общей редакцией В.Г. Сорокина. - М.:Машиностроение – 1989. – 640 с.

21. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 171 с.

22. Холявко В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.

23. Методичні вказівки до лабораторної роботи „Металографічний аналіз металів та сплавів,, з дисципліни «Матеріалознавство» для студентів напряму підготовки 6.050402 «Ливарне виробництво» / Укл.: доцент Калініна Т.В., професор Буря О.І., Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2015. - 16 с.

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

25. Фолькер Леппле Термическая обработка стали: Учебник / Пер. с немецкого. – Нур-Султан: Фолиант, 2019. – 296 с.

26. Основные виды химико-термической обработки – цементация, азотирование, карбонитрация [Электронный ресурс].– Режим доступа до

ресурсу: <https://www.navigator-beton.ru/articles/vidy-himiko-termicheskoy-obrabotki.html>

27. Сігова В.І., Руденко П.В. С-34 Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с.

28. Собівартість продукції в промисловості [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <http://www.visnuk.com.ua/uk/publication/100003964-chastina-1-sobivartist-produktsiyi-v-promislovosti->.

29. Себестоимость продукции. Цена. Прибыль и рентабельность [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <http://www.ereport.ru/articles/firms/cost.htm>.

30. Гончаренко М.Л. Тимофеева А.В Оптимізація витрат як фактор підвищення рентабельності виробничого підприємства.- 2016. - №6. – С. 93-97.

31. Прибуток підприємства: його роль, формування, розподіл та використання в умовах сучасної системи оподаткування [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: https://pidru4niki.com/15100827/finansii/pributok_pidpriyemstva_yogo_rol_formuvannya_rozpodil_vikoristannya_umovah_suchasnoyi_sistemi_opodatkuvan.

32. Лекція 3. Розділ 2. Охорона праці. Тема 2.1. Вступ. Правові та організаційні основи охорони праці [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/Binder21.pdf>.

33. Закон України «Про охорону праці» № 2695-ХІІ від 14.10.1992 р.

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

35. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

36. Кобевнік В. Ф. Охорона праці / В. Ф. Кобевнік. – К. : Вища шк., 1990. – 286 с.

37. ГОСТ 12.1.005-76. Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.

38. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности

39. НПАОП 28.5-1.02-07 Правила охорони праці при термічній обробці металів. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ 18.12.2007 N 315. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28 січня 2008 р. за № 66/14757.

40. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

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

42. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-ХІІ від 25.06.1991 р.