

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

Особливості легування сталей для високопродуктивних методів
електроелектричного насичення

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-219м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Чуб Артур Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доцент Климов О.В
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
 Фізичного матеріалознавства
 Вищої освіти Магістр
 Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
 (код і найменування)
 Програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
 Чуб Артур Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкту (роботи) Особливості легування сталей для високопродуктивних
верхнього насичення

Виконав проєкту (роботи) Климов Олександр Володимирович, доцент каф.ФМ, к.т.н
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____

Завдання студентом проєкту (роботи) _____

Вхідні дані до проєкту (роботи) зразки зі сталі 25ХГМ, хімічний

розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
Вступ 1. Аналітичний огляд 2. Матеріали та методика досліджень. 3.
вступна частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в галузі.

графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
склад сталі 25 ХГМ, % мас, Схема дифузійного шару сталі 25ХГМ після
цементації, Вміст насичувальних елементів в дифузійному шарі, Розподіл
вмісту дифузійного шару після нітроцементзації сталі 25ХГМ, Розподіл
вмісту за товщиною дифузійного шару після цементзації, Мікроструктура
дифузійного шару після цементзації сталі 25ХГМ, Вміст насичувальних елементів в
дифузійному шарі сталі 25ХГМ після цементзації

Консультанти розділів проекту (роботи)

Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
	завдання видав	прийняв виконане завдання
Климов О.В		
Климов О.В		
Климов О.В		
Круглікова В.О		
Нестеров О.В		
Ткач Д.В		

Віддачі завдання « 10 » жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Аналітичний огляд	12.10.2020	
Матеріали та методики досліджень	18.10.2020	
Експериментальна частина	17.11.2020	
Економічна частина	18.11.2020	
Безпека праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	15.12.2020	

Студент(ка)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 96 с., 20 рис., 15 табл., 16 джерел

Об'єкт дослідження – зразки зі конструкційної сталі 25ХГМ, що потребує дифузійного насичення поверхні.

Мета роботи: розглянути основні умови та характеристики дифузійного насичення поверхні деталей, термодинамічні основи поверхневого насичення. Навести хімічний склад сталі 25ХГМ. Розглянути структуру та хімічний склад покриттів за допомогою рентгеноструктурного аналізу, визначити характеристики зносостійкості покриттів.

В роботі було розглянуто як нітроцементовані так і цементовані покриття на сталі 25ХГМ, визначено переваги нітроцементзації для обраного матеріалу. Зазначено час и тривалість нагрівання для деталі, розраховано величину економічного ефекту, розглянуті питання з охорони праці.

ДИФУЗІЙНЕ НАСИЧЕННЯ, ПОКРИТТЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ,
МІКРОСТРУКТУРА, ЦЕМЕНТАЦІЯ, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ,
МІКРОТВЕРДІСТЬ, ФАЗОВИЙ СКЛАД, ДИФУЗІЙНИЙ ШАР,
ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд	8
1.1 Природа хіміко-термічної обробки	8
1.1.1 Отримання дифузійних шарів в процесі хіміко-термічної обробки.....	8
1.1.2 Термодинамічні основи ХТО.....	12
1.2 Сутність процесів високопродуктивного поверхневого насичення металів.....	17
1.3 Технологічні параметри процесу нітроцементациї	24
1.3.1 Температура процесу.....	24
1.3.2 Тривалість процесу	27
1.3.3 Склад газової атмосфери для нітроцементациї	30
2 Матеріали та методика випробувань.....	34
2.1 Метод насичення поверхні.....	34
2.2 Дослідження мікроструктури	36
2.3 Дослідження механічних властивостей.....	37
2.3.1 Вимірювання твердості	37
2.3.2 Вимірювання зносостійкості	38
3 Експериментальна частина	39
3.1 Вплив легувальних елементів на властивості сталі 25 ХГМ.....	39
3.2 Дослідження процесів нітроцементациї та цементациї сталі 25ХГМ.....	42
3.3 Маршрутна технологія виготовлення виробів із нітроцементованим шаром	51
3.4 Термічна обробка деталей зі сталі 25 ХГМ.....	54
4 Економічна частина	66
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....	66
4.2 Техніко-економічні розрахунки.....	67
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	75

5.1 Аналіз потенційних небезпек	75
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	76
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	80
5.4 Заходи з пожежної безпеки	83
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	84
Висновки	90
Перелік посилань.....	91
Додаток А.....	94

ВСТУП

Деталі, що визначають ресурс роботи машин, механізмів і інструментального оснащення, які експлуатуються в умовах інтенсивного зношування. Статистичний аналіз показує, що головною причиною виходу з ладу машин є не їх поломка, а зношення рухливих сполучень і робочих органів під впливом сил тертя. При терті відбуваються докорінні зміни приповерхневого об'єму матеріалу дотичних рухомих сполучень, які і визначають процес зношення. У зв'язку з цим у ряді випадків поверхнєве зміцнення шляхом нанесення дифузійних покриттів може бути досить ефективним способом вирішення даної проблеми. Забезпечення працездатності деталей, робота в умовах підвищених контактних напружень швидкостей обертання і температурних впливів, досягають застосуванням таких процесів дифузійного поверхневого зміцнення як цементация і нітроцементация.

Процес нітроцементации відкриває перспективи для широкого використання низьколегованих сталей замість високолегованих і вуглецевих сталей для виготовлення деталей машин, так як азот є досить ефективним легувальним елементом, що підвищує міцність і зносостійкість поверхневих шарів оброблюваних деталей. Нітроцементация дозволяє забезпечити автоматичне регулювання насичення вуглецем також активності насичувального середовища і, таким чином, отримати стабільно високі властивості міцності і експлуатаційні якості деталей. За останні роки процес нітроцементации деталей отримує все більше застосування в автомобілебудуванні та інших галузях промисловості.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Природа хіміко-термічної обробки

1.1.1 Отримання дифузійних шарів в процесі хіміко-термічної обробки

Дифузійні покриття утворюються в результаті хіміко-термічної обробки металів і сплавів. Хіміко-термічна обробка (ХТО) поєднує термічний і хімічний вплив на матеріал з метою зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневих шарів. В таблиці 1.1 наведена загальна класифікація різних видів хіміко-термічної обробки [1].

Таблиця 1.1 - Класифікація операцій хіміко-термічної обробки

Особливості насичувального середовища	Варіанти ХТО	
	Однокомпонентне насичення	Багатокомпонентне насичення
Дифузійне насичення неметалами	Цементация (науглецовання) Азотування Борування Силіціювання	Нітроцементация Ціанування Сульфоазотування Сульфоціанування Боросиліціювання Карбоборування
Дифузійне насичення металами	Алітування Хромування Цинкування	Спільне насичення алюмінієм і іншими металами. Одночасне насичення хромом та іншими металами
Дифузійне насичення металами та неметалами		Спільне насичення бором і перехідними металами (Cr, W, Ti). Карбохромування. Одночасне насичення кремнієм перехідними металами (Cr, W, Mo, Ti)

Дифузійні покриття на поверхні виробу можуть утворюються в результаті насичення матеріалу різними елементами: неметалами (C, N, B, Si, P), металами (Al, Cr, Zn, W тощо.), а також спільним насиченням (C та Cr, B та Al, C та N, Cr та Al, Al та Si тощо.)

Вибір того чи іншого способу насичення здійснюється у відповідності до виду виробництва, габаритів виробів, необхідної товщини тощо.

До основних технологічних методів отримання дифузійних покриттів відносяться:

1. Насичення з порошкових сумішей (порошковий метод). Застосовується в дрібносерійному і серійному виробництві для цементації, алітування, хромування тощо. Відрізняється простотою технологічного процесу.

2. Прямоточний і циркуляційний методи дифузійного насичення з газових середовищ. Прямоточний метод застосовується в великосерійному і серійному виробництві для цементації, нітроцементації і азотування. Забезпечує високу якість дифузійного покриття. Циркуляційний метод знаходить все більше застосування при насиченні металами і кремнієм.

3. Дифузійне насичення з розплавів металів або солей, що містять дифундуючий елемент. Рідкий метод дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу, проте не завжди забезпечує якість поверхні і стабільність товщини дифузійного шару. Застосовується в серійному виробництві.

4. Насичення з паст і суспензій (шлікерний спосіб). Ці методи не знайшли широкого поширення, так як не завжди забезпечують отримання рівномірної товщини покриття і високої якості дифузійного шару. В основному вони використовуються для місцевого зміцнення поверхні і при обробці великогабаритних деталей.

5. Дифузійне насичення з використанням вакууму. Це перспективний метод ХТО. Насичення здійснюється шляхом випаровування дифундуючого елементу при високих температурах із сублімованої фази. Вироби, що

оброблюються знаходяться або в контактi з порошковою сумiшшю, що мiстить дифундуєчий елемент, або на вiдстанi вiд неї.

Процес утворення дифузiйного покриття включає чотири основнi стадiї.

1. Реакцiї в насичувальному середовищi (утворення активних атомiв в насичувальному середовищi i їх дифузiя до поверхнi оброблюваного металу).
2. Транспортування активних атомiв до насичу вальної поверхнi.
3. Реакцiя взаємодiї активних атомiв з поверхнею, що протiкає в двi стадiї: а) адсорбцiя i б) хемсорбцiя.

4. Дифузiя - перемiщення адсорбованих атомiв всередину металу. Процес можливий тiльки при розчинностi дифундуєчого елементу в оброблюваному металi i досить високою температурою, що забезпечує необхідну енергiю атомам. При цьому приплив активних атомiв до поверхнi насичення повинен перевищувати число атомiв, що вiдводяться вiд поверхнi в глиб в результатi дифузiї.

Рушiйною силою дифузiйного процесу є перепад концентрацiй або хiмiчних потенцiалiв в зростаючих фазах. У тих випадках, коли процес протiкає багатостадiйно, сумарна швидкiсть визначається найбiльш повiльною стадiєю. При ХТО в бiльшостi випадкiв швидкiсть лiмiтується дифузiєю в оброблювальному матерiалi. Всi фактори, що прискорюють дифузiю (температура, градiєнт концентрацiй, структурнi дефекти тощо) зменшують тривалiсть технологiчного процесу. Розвиток процесу дифузiї призводить до виникнення на поверхнi дифузiйної зони. Концентрацiя дифундуєчого елементу зменшується вiд поверхнi в глибину виробу до значень вихiдного вмісту в матерiалi. Дифузiйна зона може вiдрiзнятися вiд серцевини хiмiчним, фазовим складом i структурою [2].

На рисунку 1.1 наведена схема дифузiйного шару, де ПЗ – перехiдна зона, x_0 – загальна товщина, x_e – ефективна товщина, a_n – значення базового параметра у поверхнi, a_e – граничне значення базового параметра, встановленого для x_e , a_c – значення базового параметра для серцевини

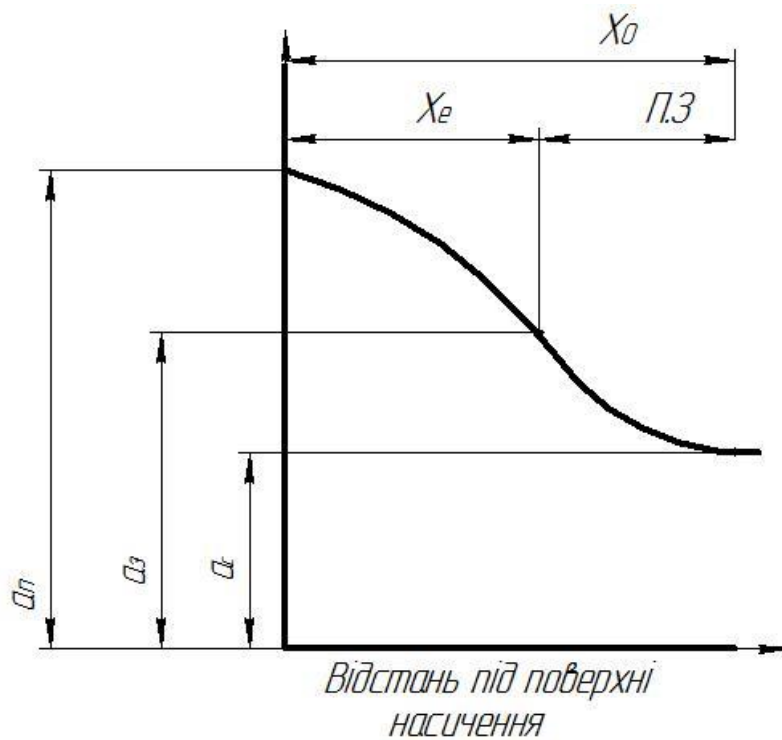


Рисунок 1.1 – Схема дифузійного шару

Найкоротша відстань від поверхні дифузійної зони до серцевини називають загальною товщиною дифузійної зони. За ефективну товщину дифузійної зони приймають відстань від поверхні до ділянки, що характеризується деяким значенням базового параметра. Під базовим параметром дифузійного шару розуміють параметр матеріалу, що слугує в даному випадку критерієм якості в залежності від відстані від поверхні насичення. В якості базового параметру приймають або концентрацію дифундуючого елементу або властивість (твердість) або структурну ознаку. Прилегла до серцевини зона, протяжність якої дорівнює різниці загальної та ефективної товщини, називається перехідною зоною дифузійної зони. Дифузійна зона може складатися з одного або декількох дифузійних шарів. Під дифузійним шаром розуміють область дифузійної зони, яка відрізняється від суміжних областей фазовим складом і структурою. Дифузійний шар характеризується своєю протяжністю і властивостями (твердістю, крихкістю тощо) [2-3].

1.1.2 Термодинамічні основи ХТО

Отримання дифузійних покриттів відбувається в спеціально підбраному середовищі, яка при високих температурах містить активні атоми (іони) насичувального елементу. Різноманіття технологій ХТО вимагає раціонального вибору середовища насичення, що заснований на термодинамічних розрахунках. Для отримання раціонального середовища недостатньо встановлення фізичного контакту між насичувальною поверхнею і дифундуючим елементом при високій температурі, так як процес насичення може виявитися занадто тривалим.

Часто не вдається уникнути утворення окисних плівок на поверхнях, що також уповільнює процес утворення покриття. Багаторічний досвід застосування хіміко-термічної обробки показав, що дифузійне насичення найбільш активно протікає в рідких і газових середовищах. Склад раціональної середовища можна визначити з аналізу хімічних реакцій, що протікають при хіміко-термічній обробці. При дифузійному насиченні можуть протікати наступні основні види реакцій: термічна дисоціація, відновлення воднем, різні обмінні взаємодії. Найбільш імовірна та реакція, яка має більш негативні-вальний термодинамічний потенціал або велику константу .



Рівняння ізобарно-ізотермічного термодинамічного потенціалу має вигляд:

$$\Delta G = -RT \ln K a + RT \ln (a'_C)^c (a'_D)^d / (a'_A)^a (a'_B)^b \quad (1.2)$$

де R – універсальна газова стала;

T – температура, К;

K_a – константа рівноваги реакції;

a_C, a_D, a_A, a_B – активності вихідних речовин.

Для газової реакції рівняння набуває вигляду :

$$\Delta G = -RT \ln K_p + RT \ln (p_C)^c (p_D)^d / (p_A)^a (p_B)^b \quad (1.3)$$

де $K_p = p_C^c p_D^d / p_A^a p_B^b$; p_C, p_D, p_A, p_B - парціальні тиски в рівноважних умовах;

p_C, p_D, p_A, p_B – парціальні тиски в нерівно вагових умовах (умови насичення).

Якщо у випадку $K_p = (p_C)^c (p_D)^d / (p_A)^a (p_B)^b$, $\Delta G = 0$, тобто фіксується рівноваговий стан. Якщо в газовій суміші переважають гази A та B , $\Delta G < 0$, повинна перетікати реакції $aA + bB \rightarrow cC + dD$.

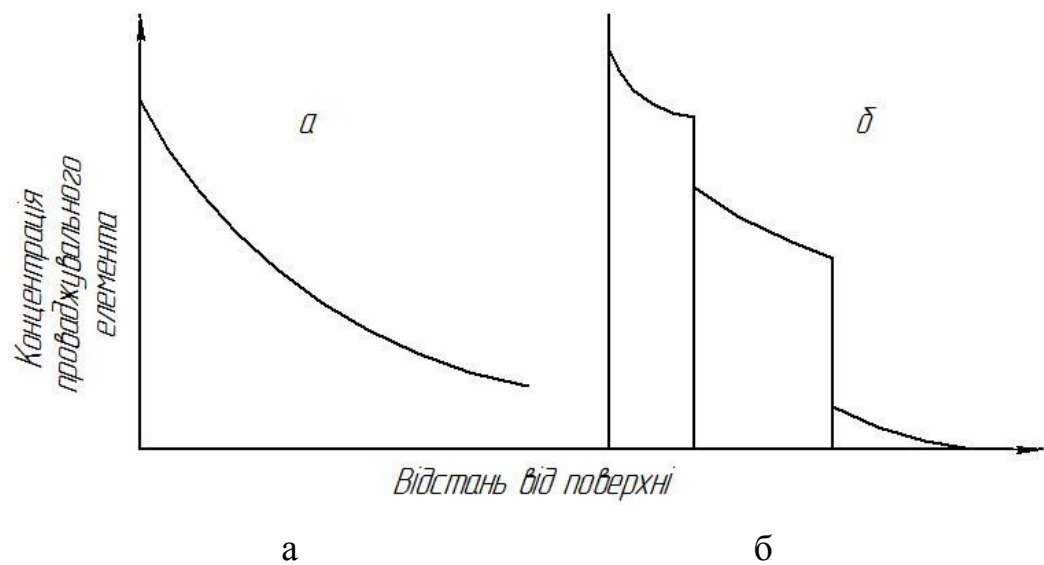
У процесі насичення виробів між атомами впроваджувального елемента і атомами основного металу можливе утворення як різних твердих розчинів (впровадження та заміщення) з кристалічними ґратками оброблюваного металу, так і проміжних фаз і твердих розчинів на їх основі.

Розрізняють два види дифузії: атомну і реакційну. При атомній дифузії не відбувається утворення нових фаз в процесі самої дифузії. Переміщення атомів дифундує чого елемента в даному випадку відбувається в одній і тій же фазі, яка являє собою твердий розчин впроваджуваного елемента в ґратці

металу-розчинника. Тому максимальна концентрація впроваджувального елемента обмежена його граничної розчинності в твердому розчині при температурі дифузії і плавно знижується в міру віддалення від поверхні в глиб деталей (рис. 1.2, а). Подібна дифузія характерна, наприклад, для цементації.

Проте дифузія елемента насичення можлива і до концентрації граничних твердих розчинів. У цьому випадку на поверхні виробів виникає одна або декілька нових фаз, відмінних за своєю кристалічною будовою від

твердого розчину, утвореного на базі металу-розчинника. Дифузія розвивається всередині різних фаз і має назву реакційна. Прикладом реакційної дифузії є утворення α - і γ -фаз при азотуванні заліза. Розподіл концентрації впроваджувального елемента за перетином дифузійної зони при реакційній дифузії характеризується наявністю стрибків концентрацій, які спостерігаються в місцях переходу від однієї фази до іншої і відповідають границям двохфазної області цих фаз при даній температурі на діаграмі стану «метал впроваджуваний елемент» (рис. 1.2, б).



а - атомна дифузія ; б - реакційна дифузія;

Рисунок 1.2 – Схема розподілу концентрації впроваджуваного елемента за перерізом дифузійної зони при ХТО

До теперішнього моменту в фізичному металознавстві існують і конкурують дві гіпотези початку утворення шарів при ХТО. Перша з них ґрунтується на припущенні про те, що спочатку відбувається накопичення дифундуючого елемента до границі розчинності в твердому розчині, а потім утворюються сполуки (фази), тобто процес утворення фаз відбувається послідовно, за деякий час. Відповідно до іншої гіпотезою в початковий момент на поверхні розділу «насичувальне середовище - матеріал» протікають хімічні реакції утворення сполук, тобто всі фази присутні в

покритті, утворюються в ньому практично миттєво, але мають нескінченно малу («нульову») товщину. Подальше формування дифузійних шарів з обох гіпотез визначається дифузійним масопереносом елементів. В теперішній час прийнято вважати експериментально встановленим, що в разі доставки насичувальним середовищем достатньої кількості дифундуючого елемента в активному стані на поверхню виробу, при досить тривалому насиченні ($\tau > \tau_3$), в дифузійній зоні утворюються однофазні шари, відповідного ізотермічного розрізу бінарної діаграми стану при температурі хіміко-термічної обробки причому послідовність утворення фаз при дифузійній зміні складу відповідає послідовності їх розташування на діаграмі стану. Відхилення від цієї закономірності достатньо рідкісні. Відсутність двофазних зон при дифузійній взаємодії в двокомпонентній системі, незважаючи на те що на відповідних діаграмах стану є двофазні області, що уявляють собою суміші фаз граничних концентрацій, пояснюється тим, що рушійною силою дифузійних процесів є перепад концентрацій або хімічних потенціалів. Відсутність двофазних ділянок в дифузійній зоні можна пояснити також і за допомогою правила фаз. У двофазних областях бінарної системи число фаз $\Phi = 2$ і число компонентів $K = 2$. Підставляючи ці значення в рівняння правила фаз, отримаємо, що число ступенів свободи $C = K - \Phi + 2 = 2$. Це означає, що «вільними» є тільки температура і тиск і при фіксації останніх ніякої зміни складу бути не може, тобто дифузійний процес в двокомпонентній системі з утворенням двофазної області неможливий.

На підставі вищевикладених фактів в більшості робіт помодельовання кінетики формування дифузійних багатофазних шарів зазвичай приймаються наступні допущення:

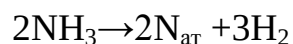
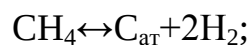
- 1) в покритті утворюються всі фази, наявні на діаграмі стану відповідної системи, причому послідовність також визначається діаграмою;
- 2) концентрації на міжфазних границях відповідають граничним розчинностям дифундуючих елементів в фазах при даній температурі процесу;

3) час утворення всіх фаз в покритті з граничними концентраціями, відповідними діаграмі стану (час встановлення локальної термодинамічної рівноваги).

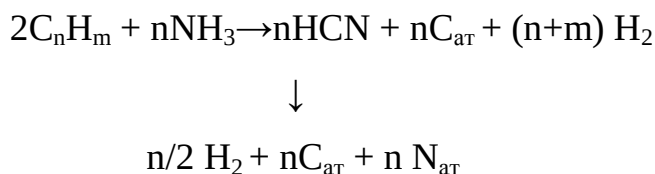
Слід зазначити, що останнє припущення дозволяє в ряді випадків пояснити факт «відсутності» одного або декількох шарів в дифузійній зоні в покритті, незважаючи на наявність відповідних фаз на діаграмі стану. Подібна ситуація реалізується, якщо «зникаюча» фаза має вузьку область гомогенності або коефіцієнт дифузії в ній набагато менше коефіцієнтів дифузії елементів в сусідніх з нею фазах. Наслідком цього є її уповільнений ріст і незначна протяжність, порівнянна з розміром плоских дефектів, що призводить до неможливості виявлення даної фази не тільки металографічним методом, але навіть рентгеноструктурним методом дослідження. Зазначимо також на принципову можливість прогнозувати фазовий склад покриттів, використовуючи діаграми стану багатокомпонентних систем, при хіміко-термічній обробці сплавів, що складаються з декількох елементів. Зазвичай це буває складним через відсутність необхідних ізотермічних розрізів діаграми стану багатокомпонентної системи і неоднозначності у визначенні концентрації елементів на міжфазних границях. Тільки аналіз рівноважних діаграм стану дво- і лише в деяких випадках трикомпонентних систем дозволяє однозначно прогнозувати фазовий склад дифузійних покриттів, що формуються при хіміко-термічній обробці металів і сплавів при постійній температурі, а іноді і якісно оцінити відносну протяжність фазових шарів. Досить точну інформацію про товщину фаз в покритті, а також розподілу концентрацій дифундуючих елементів в фазах отримують в результаті математичного моделювання дифузійних процесів.

1.2 Сутність процесів високопродуктивного поверхневого насичення металів

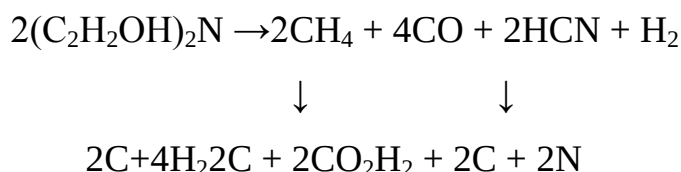
Процес нітроцементації полягає в нагріванні деталей в газовому середовищі, що складається з азото- і вуглецевих газів, до температури 820...860°C, витримці протягом часу, необхідного для отримання дифузійного шару заданої глибини, і охолодженні зі швидкістю, яка забезпечує необхідні властивості поверхневого шару і серцевини. Насичення поверхневих шарів сталі вуглецем і азотом при хіміко-термічній обробці залежить від комплексу складних процесів, що протікають на межі розділу «газове середовище - по-поверхня деталі», а також в поверхневих шарах металу. Розчинність молекулярного азоту в залізі незначна і становить близько 0,027% при 900°C, а енергія дисоціації азоту найбільша серед двоатомних молекулярних газів (225,1 ккал / моль). У зв'язку з цим насичення сталі азотом можливе лише за умови, що до поверхні металу підводиться хімічно активний атомарний азот, що виділяється при розпаді порівняно легко дисоціюючих молекул аміаку. Аналогічно для насичення сталі вуглецем необхідно підводити до поверхні сталі активні атоми вуглецю. Активні атоми вуглецю і азоту утворюються при протіканні в газовому середовищі реакцій дисоціації метану, окису вуглецю та аміаку:



При взаємодії вуглеводнів та аміаку можливе утворення дуже активної газоподібної синильної кислоти:



При використанні для нітроцементації триеталомина вуглець та азот утворюють в процесі протікання наступних реакцій:



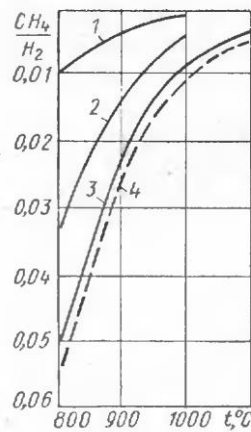
Практично в реакціях взаємодії з металом беруть участь атомарний азот і вуглець, що виділяються з самій його поверхні в дуже тонкому шарі газового середовища товщиною близько 2...3 Å. Атоми, що утворюються в іншому обсязі робочого простору печі, зв'язуються в інертні молекули і не беруть участь в процесах насичення.

На границі розділу газ-метал, в умовах каталітичного впливу поверхні металу, протікають складні фізико-хімічні так звані сорбційні процеси (адсорбція і абсорбція). Якщо сорбційні процеси протікають з досить великою швидкістю, то на поверхні металу і в поверхневих шарах виникає значний перепад концентрацій цих атомів і відбувається інтенсивне дифузійне насичення поверхневих шарів металу вуглецем і азотом.

В процесі дифузії відбувається впровадження атомів вуглецю і азоту в кристалічну ґратку заліза переміщення їх в глибину металу під дією концентраційного напору.

Азот дифундує в сталь разом з вуглецем, надає значний вплив на кінетику процесу насичення. Азот значно знижує температуру початку насичення в порівнянні з процесом цементації з 750°C до 400...450°C в результаті зниження температурної області існування γ-заліза.

Одночасно з виділенням активних атомів вуглецю і азоту в реакційній зоні виділяються значні кількості водню (в результаті дисоціації метану й аміаку) і двоокису вуглецю (в результаті дисоціації окису вуглецю). Тому первісні високі концентрації метану і окису вуглецю в реакційній зоні близько поверхні виробів зменшуються і наближаються до значень, відповідним рівноважним станам (рисунок 1.3, 1.4).



1-3 — $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2 + \text{C}$; 4 — $\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$; 1 — сталь 0,20% C; 2 — сталь 0,60% C; 3 — сталь 0,95% C; 4 — насичений аустенит + Fe_3C

Рисунок 1.3 – Діаграма рівноваги газової суміші метан-вуглець з аустенітом

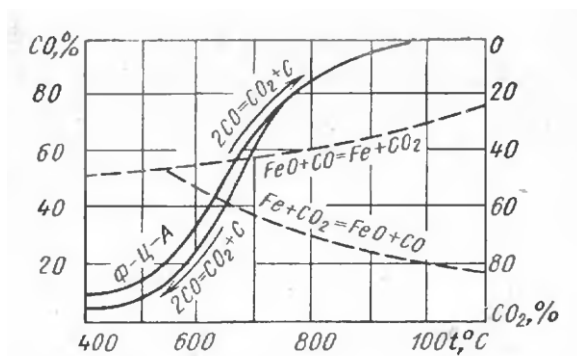


Рисунок 1.4 – Діаграма рівноваги газової суміші окису вуглецю – вуглекислий газ з аустенітом

У підсумку по товщині реакційної зони газової фази створюється різниця концентрацій і парціальних тисків активних компонентів суміші. Ця різниця концентрацій викликає дифузійні процеси, що призводять до зниження градієнта концентрації. Причому, водень і двоокис вуглецю дифундують в глиб газової суміші від поверхні, а метан, окис вуглецю і аміак - до поверхні деталі з глибини газової суміші.

Вуглець та азот, дифундуючи в аустеніт або ферит, утворюють твердий розчин втілення, так як фактичний радіус атома вуглецю (0,77 Å) і азоту (0,71 Å) складають менше 0,59 від фактичного атомного радіусу заліза (1,28 Å). Тверді розчини втілення характеризуються переважною дифузією тільки одного компонента (з меншим атомним радіусом), атоми якого впроваджуються в міжатомні міжвузля матриці.

Процес спільного насичення сталі вуглецем і азотом принципово відмінний від цементації і азотування внаслідок іншого механізму насичення, зміни коефіцієнтів дифузії вуглецю і азоту в аустеніті, зміни енергії активації вуглецю і азоту в γ -залізі, зміни швидкості насичення поверхневих шарів сталі вуглецем і азотом [4-6].

Встановлено, що зі збільшенням вмісту вуглецю коефіцієнт дифузії азоту в сталі знижується, а коефіцієнт дифузії вуглецю в сталі зі збільшенням вмісту азоту підвищується. Обчислення коефіцієнтів активності насичувального середовища і коефіцієнтів дифузії сталі 25 при нітроцементатії триетаноламіном і цементатії при 920°C протягом 12 і 17 годин відповідно показало, що при нітроцементатії коефіцієнт активності в 1,2 рази вище, ніж при цементатії ($3,83$ і $3,44 \cdot 10^{-7}$ см²/с) і коефіцієнт дифузії вище в 1,4 рази ($1,9$ і $1,37 \cdot 10^{-7}$ см²/с відповідно). Прискорення насичення і підвищення інтенсивності дифузії вуглецю в сталь під впливом азоту пояснюється сукупністю фізико-хімічних процесів, що протікають у газовій фазі і в нітроцементовному шарі. В газовому середовищі, що містить карбюризатор і аміак, помітна дифузія вуглецю в сталь починається при

550°C, тобто. значно нижча за температуру A_{c1} , внаслідок утворення при температурі 550°C залізо-азотної γ -фази і розчинення в ній вуглецю.

Нижче температури A_{c1} можливе значне коксування сталі при одночасній дифузії азоту.

Прискорена дія азоту на дифузію вуглецю в сталь при спільному їх насиченні обумовлено збільшенням коефіцієнту дифузії вуглецю під впливом азоту і більш інтенсивним утворенням тонкого поверхневого шару з концентрацією дифундуючого елементу, що відповідає стану рівноваги поверхневих шарів металу з газовим середовищем.

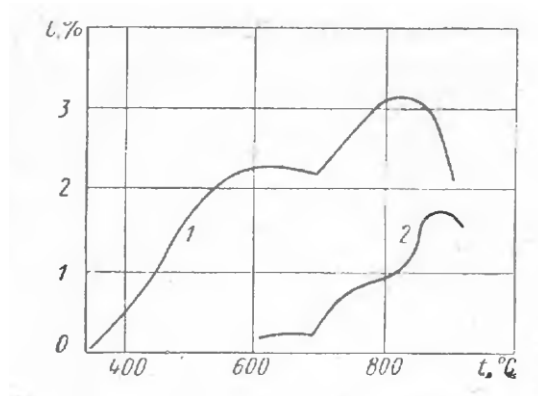


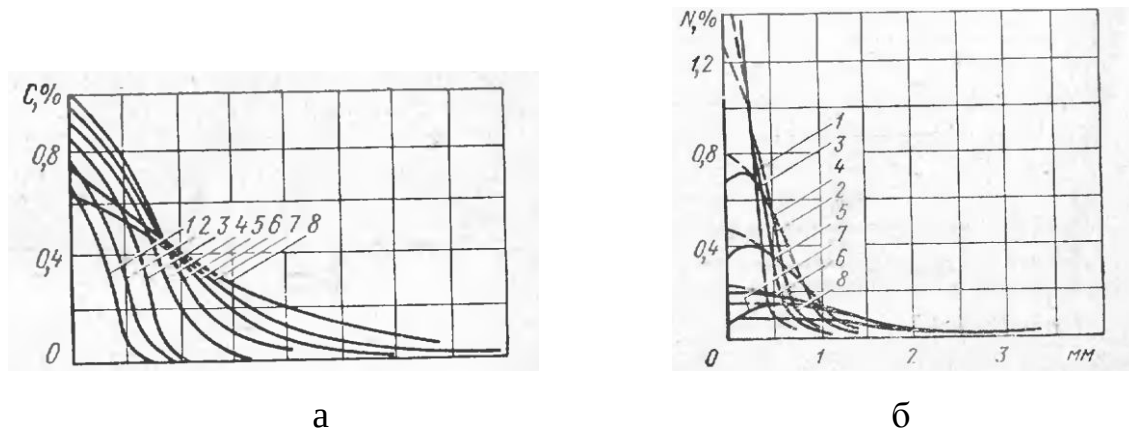
Рисунок 1.5 – Зміна концентрації вуглецю в залізному порошку, попередньо азотованому і без азоту після обробки вуглеводним газом при різних температурах

Введення аміаку в науглецьовану атмосферу також активізує газове середовище і прискорює насичення сталі вуглецем внаслідок утворення і дисоціації дуже сильного карбюризатору - синильної кислоти.

При надмірному насиченні сталі азотом, що супроводжується утворенням в поверхневій зоні шару кірки карбонітридних фаз, швидкість дифузії вуглецю і інтенсивність збільшення глибини шару зменшуються.

При одночасному насиченні сталі вуглецем і азотом виявлено, що на кривих розподілу азоту і вуглецю по глибині шару після 10-годинної витримки максимальний вміст азоту спостерігається не в самому зовнішньому шарі, а на деякій відстані від поверхні (рисунок 1.6).

Наявність цього максимуму на кривій розподілу азоту може бути пояснено явищем десорбції атомів азоту в процесі нітроцементації. Величина і положення максимуму на кривих поділу залежать від співвідношення швидкостей процесів десорбції і дифузії азоту.



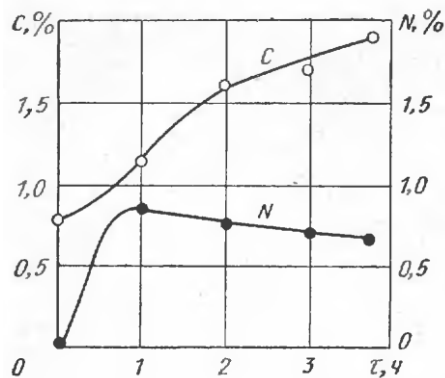
а – середовище С; б – середовище NH_3 .

1 - 700°C; 2 - 750°C; 3 - 800°C; 4 - 850°C; 5 — 900°C; 6- 950°C; 7 – 1000°C; 8-1050°C

Рисунок 1.6 – Зміна концентрації вуглецю та азоту за глибиною шару зразків після витримки в газовому середовищі (50%С, 50% NH_3) протягом 10 год при різних температурах

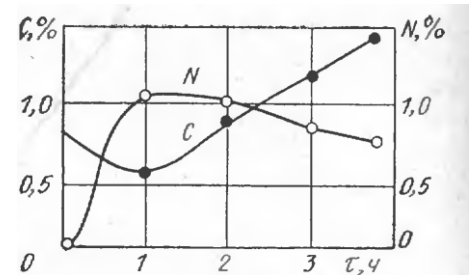
Насичення поверхневих шарів сталі вуглецем і азотом при нітроцементації протікає в дві стадії. Двостадійний характер концентраційних залежностей виявлено при насиченні азотом, а високовуглецевих сталей У8 і У12 вуглецем в процесі одночасної дифузії вуглецю і азоту при температурах 830°C, подачі бензолу 0,035 і 0 045 $\text{см}^3 / \text{хв}$ відповідно (рисунок 1.7). З наведених залежностей видно, що концентрація азоту при насиченні низько - та високовуглецевої сталі досягала максимальних значень при тривалості процесу близько однієї години і потім знижується концентрація вуглецю при насиченні високовуглецевої сталі в недостатньо точно активного навуглецювального середовища може

знижуватися, в результаті чого на концентраційних кривих утворюється мінімум.



а

а - сталь 10; б - сталь У8



б

Рисунок 1.7 – Кінетичні криві зміни концентрації азоту та вуглецю в тонких зразках

Таким чином спостерігаються дві різні по кінетиці стадії насичення. У першій стадії низьковуглецева сталь насичується вуглецем і азотом, а високовуглецева насичується азотом і зневуглецьовується при недостатньо насичувальному вуглецем активному середовищі. В другій стадії відбувається до азотування шару, тобто переходу азоту в газову середовище.

Якщо зневуглецювання настає лише за умови, що деталь при температурі обробки потрапляє в атмосферу зі зниженим вуглецевим потенціалом, то деазотування відбувається в середовищі з постійно високим азотним потенціалом і тим інтенсивніше, ніж вище азотний потенціал. Характер розподілу азоту по глибині шару після обробки протягом 0,5 і 1 год також вказує на процес деазотування поверхні. Так як де азотування відбувається при постійній азотувальній активності газового середовища, то цей процес може бути пояснений кінетичною взаємодією атомів вуглецю і азоту в шарі, що призводить до їх взаємного витіснення з шару в газову фазу. Таким чином, на першій стадії процесу внаслідок більшої розчинності азоту

в γ -залозі в порівнянні з вуглецем і більш низкою температурою початку азотування провідним процесом під час нагрівання і в початковий період витримки є насичення азотом. Потім внаслідок більшої термодинамічної стійкості вуглецевих фаз настає етап, який характеризується деазотуванням. Таким чином, механізм деазотування при нітроцементації докорінно відрізняється від механізму зневуглецювання. Останнє має місце в тих випадках, коли активність насичувального середовища по вуглецю (вуглецевий потенціал) зменшується по ходу процесу. Десорбція ж азоту відбувається не внаслідок зміни складу газового середовища, а в результаті кінетичної взаємодії атомів азоту і вуглецю в сталі, обумовленого обмеженою розчинністю азоту і вуглецю, атоми яких впроваджуються в октаедричні пори кристалічної ґратки заліза і при досягненні певної концентрації взаємно витісняють один одного [6-10].

1.3 Технологічні параметри процесу нітроцементації

1.3.1 Температура процесу

Максимальна концентрація вуглецю і азоту в поверхневому шарі залежить в основному від двох факторів по-перше, від граничної розчинності вуглецю і азоту в γ -фазі, вмісту їх в карбідах або нітридах і кількості карбідів і нітридів в поверхневому шарі; по-друге, від ступеня стабільності, стійкості вуглецевого і азотного аустеніту, а також карбідів і нітридів при температурі хіміко-термічної обробки.

Встановлено, що підвищення температури процесу призводить до зниження концентрації азоту в поверхневих зонах дифузійного шару. Це обумовлено перш за все зростанням швидкості дисоціації аміаку з підвищенням температури і, отже, зниженням вмісту недосиційованого аміаку в газовій атмосфері. При постійному парціальному тиску

недосоційованого аміаку і водню швидкість переміщення азоту до поверхні з підвищенням температури зростає швидше, ніж швидкість дифузії атомів азоту вглиб металу.

Зазначені процеси, а також нестабільність нітридів і азоту, що містяться в аустеніті при температурі вище 700°C призводять до того, що при температурі нітроцементатії ступінь насичення шару азотом рідко досягає 0,6%.

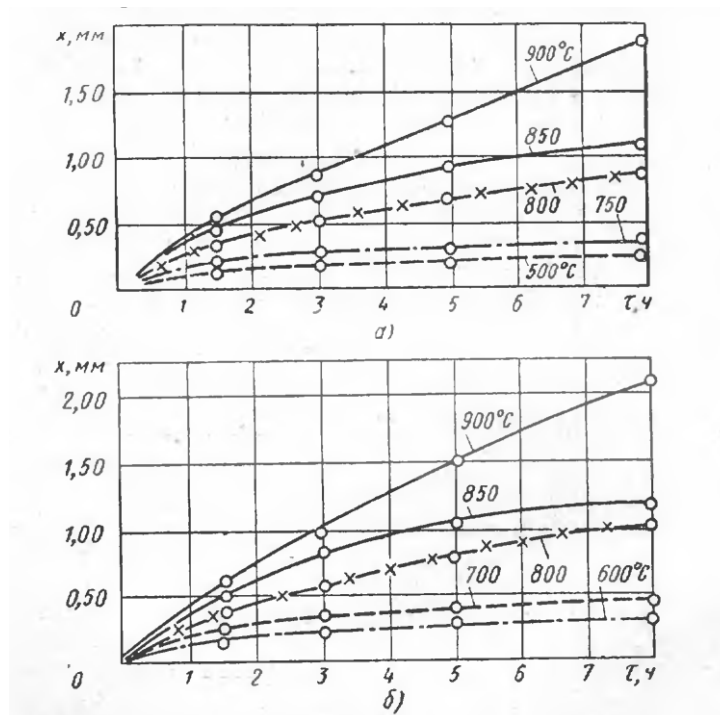
Концентрація вуглецю в шарі зростає з підвищенням температури, так як збільшується розчинність вуглецю в аустеніті і утворюється стабільний до температури плавлення цементит що містить 6,67% C.

Зазначені при роздільній дифузії процеси збільшення концентрації вуглецю і зниження ступеня насичення шару азотом з підвищенням температури спостерігаються і при спільній дифузії в сталь вуглецю і азоту.

Залежність концентрації вуглецю і азоту досліджували в зразках сталі У8 (товщиною 0,2 мм), обробленої протягом 85 хв в інтервалі температур $740\ldots 850^{\circ}\text{C}$ при подачі аміаку 3 л / хв. і бензолу $0,05\text{ см}^3 / \text{хв}$. При підвищенні температури з 740 до 850°C концентрація вуглецю зростає з 0,35 до 0,70%, а концентрація азоту знижується з 2,15 до 0,5%. При нітроцементатії заліза з підвищенням температури процесу від 700 до 900°C концентрація вуглецю на відстані 0,15 мм від поверхні підвищилася з 0,57 до 0,97%, а концентрація азоту знизилася з 1,9 до 0,39%. При подальшому підвищенні температури до 1050°C концентрація вуглецю знизилася до 0,6%, а азоту - до 0,09%. Встановлено, що в температурному інтервалі $700\ldots 900^{\circ}\text{C}$ в поверхневих шарах (на глибині до 0,15 мм) між концентрацією вуглецю і азоту при різній температурі процесу існує лінійна залежність. При більш високих температурах ($900\ldots 1050^{\circ}\text{C}$) пряма має різкий перегин, який свідчить про вимірюванні кінетичних параметрів процесу. Таким чином, введення в поверхневі шари сталі азоту абсолютно перетворює процес цементатії. Механізм абсорбції домішок з атмосфери печі при нітроцементатії багато в чому різниться від механізму, притаманного цементатії. Температура

процесу - один з найбільш важливих факторів, визначають, поряд зі складом атмосфери для печей, будова шару [10-14].

При дослідженні впливу температури і витримки на глибину шару було визначено, що прийнятих значень швидкість утворення шару досягає тільки при температурах порядку 830°C (рисунки 1.8). При температурі процесу вище 900°C спостерігається перегрів шару і серцевини. Поява в поверхневих зонах шару карбонітридних фаз знижує швидкість збільшення глибини шару.



а - сталь 20; б - 20Х;

Рисунок 1.8 – Залежність глибини нітроцементованого шару від температури та витримки

Температура значно впливає на структуру шару, і зокрема на кількість залишкового аустеніту. Дослідження підтвердили про складну будову шару і зникнення багатозонної зовнішньої прошарку при температурі $815\ldots 840^{\circ}\text{C}$. Вони показали, що при підвищенні температури нітроцементзації кількість залишкового аустеніту у внутрішньому двухфазному підшарі зменшується, кількість мартенситу збільшується і голки його укрупнюються.

Підвищення температури супроводжується зміною структури не тільки шару, але і серцевини. При температурі процесу вище $A_{с3}$ оброблюваної сталі серцевина деталей в залежності від їх перерізу і швидкості охолодження набуває структуру троститу та сорбіту. З підвищенням температури і збільшенням тривалості процесу відбувається зростання глибини дифузійної зони внаслідок зростання швидкості дифузії вуглецю і азоту і характеру залежності дифузійних процесів.

Виконаний аналіз сукупності даних про характер зміни фазового складу, структури і міцності стали від температури нітроцементзації дає підставу зробити висновок, підтверджений всією практикою хіміко-термічної обробки, що процес слід проводити при температурі насичення $850...860^{\circ}\text{C}$, яка забезпечує оптимальну структуру (мартенсит і залишковий аустеніт) і властивості сталі. Зміст залишкового аустеніту в дифузійній зоні залежить від складу газової атмосфери, температури насичення і гартування. Зниження температури насичення щодо зазначених значень призводить до зниження концентрації вуглецю в шарі, перенасичення поверхневої зони вуглецем, різкого переходу від насиченого шару до серцевини і окрихчувального шару. Підвищення температури процесу призводить до збільшення концентрації вуглецю, зниження вмісту азоту в шарі і, отже, до зниження статичної, динамічної міцності і зносостійкості деталей.

1.3.2 Тривалість процесу

Тривалість процесу обробки при нітроцементзації складається з часу нагрівання садки (або піддонів з завантаженими на них деталями), часу, необхідного для забезпечення рівномірного насичення поверхні всіх завантажених деталей вуглецем та азотом, і часу охолодження деталей до заданої температури.

Час нагріву деталей до температури насичення визначається цілою низкою чинників і перш за все масою садки або завантаження на піддон, масою технологічних пристосувань, щільністю укладання деталей, перетином деталей і ступенем розвиненості їх поверхні розміщенням нагрівальних елементів, наявністю і розташуванням вентиляторів в робочому просторі печі, забезпечуючих циркуляцію теплоносія, а також режимом нагріву [15].

Практика нітроцементатації довела необхідність стабілізації маси деталей на піддоні, що дає можливість забезпечити їх рівномірне прогрівання при заданій тривалості знаходження деталей в нагрівальних зонах без муфельних агрегатів. За кордоном діють системи регулювання маси деталей на піддонах, які реєструють масу піддону з деталями і направляють піддон до відповідної печі. Доведено можливість рівномірного прогрівання піддонів з масою завантажених на них деталей, що дорівнює 250 кг, при забезпеченні необхідної інтенсивності циркуляції газів в зоні нагріву. Проте проникнення газів із зони нагрівання в зону насичення, внаслідок інтенсивної циркуляції газів, необхідність забезпечення рівномірного охолодження більшого числа деталей змушують обмежувати завантаження деталей на піддон в межах 80-100 кг.

При зазначеному завантаженні прогрів деталей в 12 і 21-піддонних безмуфельних агрегатах забезпечується при періоді завантаження близько 10 хв. Подальше збільшення періоду завантаження обумовлено не необхідністю рівномірного прогріву деталей, а тривалістю дифузійних процесів насичення їх поверхневої зони до необхідної глибини шару і концентрації вуглецю і азоту.

Насичувальну здатність газової атмосфери в робочому просторі печі можна вважати постійною, то в перший період насичення газове середовище не встигає заповнювати кількість активних атомів вуглецю і азоту, дифундуючих вглиб, і концентрація вуглецю і азоту на поверхні знижується. Потім, зі зменшенням швидкості дифузії атомів вглиб внаслідок зниження

градієнта концентрацій активних елементів концентрація вуглецю і азоту з часом зростає. Таким чином, при насиченні сталі в газових середовищах, що містять аміак, вуглеводні і, особливо, окис вуглецю і двоокис вуглецю, до встановлення відносно постійної концентрації вуглецю і азоту на поверхні проходить до 2-3 год.

Практика нітроцементзації показала, що при обробці деталей в 21-піддони в безмуфельному агрегаті при температурі 850°C для отримання глибини шару 0,2-0,5 мм необхідний період завантаження 10 хв; для глибини шару 0,4-0,7 мм - 15 хв і глибини шару 0,8- 1,1 мм - 25 хв.

Тривалість процесу нітроцементзації і, отже, глибина шару істотно впливають на твердість, міцність і зносостійкість сталі.

Максимальна межа витривалості нітроцементовної вуглецевої сталі, що містить 0,12% С, досягається при глибині шару 0,23 мм.

Тривалість процесу нітроцементзації пов'язана з появою такого дефекту в дифузійному шарі, як «темна складова», так як в процесі витримки відбуваються зміни в фазовій будові дифузійної зони, що спричиняють вказаний дефект. У початковий період насичувальна дифузія азоту відбувається в двофазну аустенітно-феритну область, коли швидкість дифузії вуглецю в аустеніт ще мала. З підвищенням активності газового середовища і розігрівом стали проходить насичення поверхні сталі вуглецем і десорбція азоту, що супроводжується утворенням пор. При наявності кисню в дифузійній зоні в цих умовах можливий розвиток окисних процесів, що призводять до появи темної складової [15-17].

1.3.3 Склад газової атмосфери для нітроцементатації

Процес газової нітроцементатації призводить до зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневих шарів сталі в результаті їх взаємодії з навколишнім газовим середовищем.

При подачі в робочий простір ендотермічного газу (ендогаз) природного газу та аміаку або триетаноламина атмосфера складається з таких компонентів $C - CO - CO_2 - H_2 - CH_4 - N - HCN - NH_3 - H_2O$.

У газовому середовищі, що містить CO і CH_4 , одночасно протікають обидві реакції і стан рівноваги такої газової суміші зі сталю графічно зображується діаграмою Неймана (рисунок 1.9). При відомому вмісті газів в суміші на діаграмі Неймана для кожної температури процесу можна визначити потенціал науглецювання. Лінія *a-a* на діаграмі вказує границю рівноваги газових сумішей, в яких вуглець перебуває у вільному стані і в складі газу-карбюризатора.

Правіше лінії *a-a* газові суміші виділяють атоми вуглецю, лівіше - вільний вуглець не утворюється.

Водяна пара, що містяться в атмосфері, зрушують рівновагу реакцій дисоціації CO і CH_4 в бік збільшення констант рівноваги і спричиняють зниження концентрації вуглецю в поверхневому шарі сталі. Так як в газовому середовищі концентрації CO , CH_4 і H_2O взаємопов'язані, то за змістом водяної пари в атмосфері можна визначити її вуглецевий потенціал,

При недостатньому насиченні поверхневого шару сталі вуглецем і наступному гартуванню шар має структуру низьковуглецевого мартенситу з троститом і має знижену міцність. При перенасиченні шару вуглецем на поверхні утворюється карбонітрідна сітка і часто трооститна сітка, також знижується втомна міцність, пластичність, ударна в'язкість сталі. Аміак, введений в склад газової суміші у великих кількостях, помітно впливає на характер взаємодії газів-карбюризаторів зі сталю. Внаслідок зменшення

концентрації вуглецю в поверхневих шарах при введенні азоту відбувається зниження вуглецевого потенціалу газового середовища. Збільшення об'ємів газів при дисоціації аміаку зменшує парціальний тиск окису вуглецю і метану, відбувається зростання констант рівноваги і зменшується термодинамічна активність вуглецю, що може привести до зниження вуглецевого потенціалу при високому вмісті CO_2 і H_2 в печі.

Активність газового середовища залежить від багатьох факторів і може змінюватися по ходу процесу. При обробці деталей в атмосфері, що складається з пари бензолу і аміаку, протягом перших 3...4 годин насичувальна активність середовища як по вуглецю, так і по азоту безперервно змінюється. Причому, азотувальна активність середовища зменшується, а науглецювальна здатність, навпаки, збільшується.

Зміна вмісту аміаку в газовій суміші призводить до трансформаційних змін майже всіх параметрів шарів, глибини шару, концентрації азоту і вуглецю в поверхневих зонах. Збільшення вмісту аміаку понад 20% призвело до зниження концентрації вуглецю і твердості, різкого збільшення концентрації азоту.

Добавка 1,5 і 5,0% аміаку при температурі процесу 750°C призводить до збільшення маси зразків (у порівнянні з цементацією) на 33 і 133%; при 850°C - на 33 і 66%, а при 950°C - на 0 і 45% відповідно. Таким чином, з підвищенням вмісту аміаку в атмосфері кількість азоту, що поглинається зростає, а зі зниженням температури процесу - зменшується. Збільшення ступеня насичення шару азотом при збільшенні вмісту аміаку в атмосфері впливає на структуру і властивості шару

При введенні в евтектоїдну вуглецеву сталь 0,6% азоту значно збільшує інкубаційний період перетворення і, отже, збільшується кількість залишкового аустеніту.

Для нітроцементованих деталей неприпустимий контакт перед гартуванням з повітрям, так як при цьому внаслідок підвищеної активності

вуглецю в нітроцементованному шарі відбувається інтенсивне зневуглецювання і зниження міцності.

Було встановлено, що найбільш сприятливе поєднання різноманітних механічних властивостей (втомної міцності, ударної в'язкості, міцності при згині) забезпечується для сталей 40Х, 25ХГТ і 30ХГТ при концентрації вуглецю на поверхні в межах 0,65...0,9% і сумарною концентрації азоту з вуглецем 1...1,25%, а для молібденовмісних сталей типу 25ХГМ при концентрації вуглецю на поверхні 0,75...1,20% і сумарною концентрації вуглецю і азоту 1,3...1,5 %. При концентрації в шарі вуглецю і азоту нижче оптимальної відбувається зниження втомної міцності, ударної в'язкості, межі міцності при згині внаслідок утворення трооститу в поверхневій зоні шару. При концентрації вуглецю і азоту вище оптимальної відбувається утворення цементитної і трооститної сіток і темної складової.

У практиці нітроцементзації спостерігається тенденція до зниження кількості додавання аміаку. У перші роки застосування нітроцементзації оптимальний вміст насичувального аміаку суміші було 20...25%. В даний час для нітроцементзації застосовують суміш, що складається з 2...5% аміаку і 95...98% науглецювального і ендотермічного газів.

Ендотермічна атмосфера утворюється в спеціальному ендотермічному генераторі, який переробляє природний вуглеводневий газ або зріджені пропан-бутанові суміші. Склад ендотермічної атмосфери наступний: 20% СО, 40% Н₂, 40% N₂ і незначні кількості СН₄, СО₂ і Н₂О. Точка роси може змінюватися від +20 до -20°С без помітної зміни концентрацій інших компонентів.

Перспективним є використання екзо- ендотермічної атмосфери (типу ПСО-0,45, очищення каталітичною конверсією метану), що застосовується в якості основної атмосфери для нітроцементзації. Екзо- і ендотермічна атмосфера складається з 20% СО, 20% Н₂, решта азот. Вуглецевий потенціал цієї атмосфери, як і ендотермічної, легко регулюється по точці роси і вмістом вуглекислоти. Так як вміст водню в 2 рази нижче, ніж в ендотермічній атмосфері, то значно

зменшується ймовірність водневої крихкості і підвищується міцність нітроцементованих деталей.

До поширених карбюризаторів відноситься триетаноламін і метанол. Триетаноламін, починаючи з температури 500°C, дисоціює з виділенням газообразних продуктів: 20% метану, 30% водню, 30% окису вуглецю, 20% ціаністого водню. Розкладання триетаноламінома при нагріванні описується наступною реакцією: $(C_2H_4OH)_3N - 2CH_4 + 3CO + HCN + 3H_2$.

При дисоціації метану і ціаністого водню виділяються активні атоми вуглецю і азоту: $CH_4 - C + 2H_2$; $2HCN - H_2 + 2C + 2N$.

Процес обробки в триетаноламіном виявляє ті ж характерні явища, притаманні звичайній нітроцементациї, зокрема зменшення поверхневої концентрації азоту в шарі при збільшенні температури процесу.

При підвищенні температури процесу і тривалості наявності газу в печі концентрація синильної кислоти і метану зменшується, а отже, знижується активність газу і зменшується концентрація вуглецю і азоту в шарі. Регулюючи швидкість подачі триетаноламінома в піч, можна змінювати його активність. Доцільно проводити перетворення триетаноламіному в газ до введення його в робочий простір печі [16-20].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ

В роботі досліджується процеси високопродуктивного насичення сталей, а саме процеси цементації та нітроцементації. Досліджується сталь 25 ХГМ хімічний склад якої наведений в таблиці 2.1.

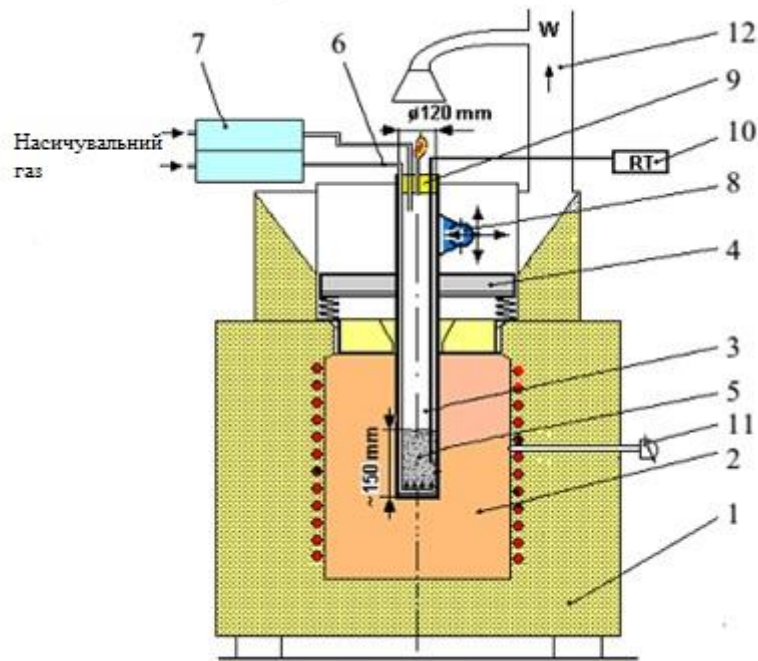
Таблиця 2.1 Хімічний склад сталі 25 ХГМ, % мас

C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S
0.23-0.29	0.9-1.2	0.2-0.3	0.9-1.2	0.17-0.37	≤0.035	0.035

Отримані зливки нагрівали в камерній печі. Далі здійснювали обтиснення на реверсивному пресі гарячої прокатки. Виливки прокатували до товщини 6 мм. Отримані розкатки охолоджували на повітрі.

2.1 Метод насичення поверхні

Термодифузійну обробку здійснювали в печі FP 700, схема якої представлена на рисунку 2.1. Псевдозрідження хімічно активної засипки, в якості якої використовували порошкові насичуювальні середовища для цементації і нітроцементації, досягалося за допомогою механічної вібрації. У роботі використовували такі параметри вібрації: частота коливань - 25 Гц, амплітуда коливань - 2,0 мм, висота шару порошкового середовища в спокійному стані - 100 мм. Діаметр контейнера - 100 мм. Насичувальне середовище отримували змішуванням і помолом вихідних компонентів, що входять до його складу.



1 – корпус печі з нагрівальними елементами; 2 – нагрівальна камера; 3 – реторта; 4 – опора реторти із пружинами; 5 – засипка досліджуваного порошкового середовища; 6 – газорозподільна ґратка та провідні трубки; 7 – ротаметри; 8 – електровібратор для псевдозжиження механічної вібрації; 9 – кришка флюїдизатора; 10 – регулятор температури засипки порошкового середовища; 11 – термопари; 12 – витяжна вентиляція

Рисунок 2.1 – Схема устаткування для дослідів FP 700

Склад порошкового середовища наведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Склад порошкового середовища і температурно-часових параметрів цементації та нітроцементації сталі 25ХГМ

Назва процесу	Склад середовища	Параметри насичення	
		Температура, °C	Час, год
Нітроцементация	$77\%Cr_2O_3 + 6\%C +$ $5\%K_4Fe(CN)_6 + 10\%Al_2O_3$ $+ 2\%NaHCO_3$	870	4

1	2	3	4
Цементация	70%Cr ₂ O ₃ + 15%Al ₂ O ₃ + 10%C + 4%NaHCO ₃ + 1%NH ₄ Cl	930	4

2.2 Дослідження мікроструктури

Металографічні дослідження проводили при використанні оптичного мікроскопа і електронного мікроскопа, обладнаного енергодисперсійним рентгенівським спектрометром EDS фірми Thermo Noran. EDS- аналіз використовували для визначення хімічного складу поверхні дифузійних шарів, отриманих на зразках за допомогою характеристичного рентгенівського випромінювання атомів.

Для отримання зображень зразка в електронному мікроскопі необхідно провести такі операції:

- досягти високий вакуум в колоні мікроскопа;
- одержати зображення електронного пучка та від'юстувати всі лінзи.
- ввести зразок у камеру і встановити патрон у посадочне гніздо об'єктивної лінзи;
- сфокусувати отримане зображення і сфотографувати його.

Для металографічних досліджень використовували також мікроскоп Axiovert 200 MAT фірми Carl Zeiss. Мікроструктури записували в цифровому вигляді з використанням фотокамери AxioCam MRc5. Аналіз мікроструктури і вимір товщини отриманих дифузійних шарів проводили на металографічному мікроскопі на поперечних шліфах. Вирізані зразки заливали акріловою смолою, а потім шліфували на шліфувальному папері зі зменшенням розміру зерна. Шліфовані поверхні полірували з використанням

алмазної пасти. Підготовлені шліфи піддавали хімічному травленню трьох процентним розчином HNO_3 в C_2H_5 .

2.3 Дослідження механічних властивостей

2.3.1 Вимірювання твердості

Поверхеву твердість та розподіл твердості в дифузійному шарі визначали методом Vickers при навантаженні 100 г. Метод регламентований ГОСТ 9450-76. Індентор — алмазна чотиригранна піраміда з кутом α між протилежними гранями при вершині $136^\circ \pm 20$. Вимірювання проводяться за оптичними мікрофотографіями. Твердість HV розраховується як відношення максимально прикладеного навантаження до площі поверхні утвореного відбитка.

Вимірювання твердості за Вікерсом HV виконується в наступній послідовності:

- зразок встановлюється на стіл приладу вимірюваної поверхні вгору. Після цього стіл обертанням рукоятки маховика піднімають вгору, до легкого дотику з індентором.

- відпускають важіль, приводячи тим самим у рух навантажувальний механізм. Після встановленої за допомогою реле часу тривалості вимірювання навантаження знімається і робоча головка, з закріпленням в ній індентором, повертається у вихідне положення.

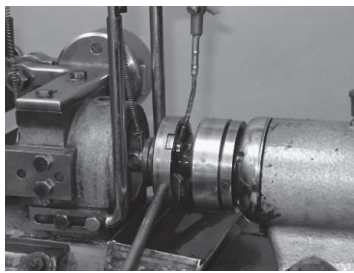
- після цього можна розгорнути приладовий стіл зі зразком до наявного на станині твердоміра відлікового мікроскопу, і заміряти діагоналі відбитка.

Твердість HRC вимірювали у відповідності із ГОСТ 9013 – 76. Для визначення твердості за Роквелом застосовували прилад типу ТК-2 (твердомір конусний). За індентор було обрано алмазний конус з кутом при вершині 120° , із $P_0 = 98\text{Н}$, $P_1 = 1373\text{Н}$, $P = 1471\text{Н}$. Твердість за Роквелом

виражається в одиницях умовної шкали і визначалася як різниця глибин проникнення індентора після попереднього (P_0) та основного (P_1) навантаження. Мінімальна товщина зразків для визначення твердості за Роквелом становила 1,2 мм.

2.3.2 Вимірювання зносостійкості

При дослідженні зносостійкості використовувався трьохвалковий метод на устаткуванні І-47-К-54. На рисунку 2.2. показано вигляд машини и зразків.



а



б

а - установка І-47-К-54; б - комплект зразків для досліджень

Рисунок 2.2 - Загальний вигляд установки та зразки

Дослідження проводили в умовах тертя-ковзання при навантаженнях 50, 100, 200 та 400 МПа. В якості змащування використовували масло, швидкість подачі якого складала 30 крапель за хвилини. На основі отриманих результатів побудовані графіки.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив легувальних елементів на властивості сталі 25 ХГМ

Хімічний склад сталі наведений в таблиці 2.1.

Основним легувальним елементом в сталі є хром. Хром підвищує точку A_3 і знижує точку A_4 (замикає область γ -заліза). Температура евтектоїдного перетворення сталі (точку A_1) за присутності хрому підвищується, а вміст вуглецю в евтектоїді (перліті) знижується. З вуглецем хром утворює карбіди (Cr_7C_3, Cr_4C) більш міцні та стійкі ніж цементит. При вмісті хрому. Розчиняючись в фериті хром підвищує його твердість і міцність, зниження в'язкості при цьому не значне. Хром значно підвищує стійкість переохолодженого аустеніту.

Хром, також, значно знижує критичну швидкість гарту, тому хромиста сталь має глибокий рівень прогартованості. Температура мартенситного перетворення за наявності хрому знижується. Хром заважає зернам зростати і підвищує стійкість проти відпуску. Тому відпуск хромистих сталей проводиться при більш високих температурах ніж відпуск вуглецевих сталей. Хромисті сталі піддаються відпускнув крихкості і тому після відпуску деталі необхідно швидко охолоджувати в маслі.

Карбідоутворюючими елементами є хром і марганець. При розчиненні карбідоутворюючих елементів в цементиті нові карбіди що утворюються називають легованим цементитом. При підвищенні вмісту карбідоутворюючого елементу утворюються самостійні карбіди даного елемента з вуглецем, так звані прості карбіди, наприклад, Cr_7C_3 , Cr_4C , Mo_2C . Усі карбіди дуже тверді (HRC 70 - 75) і розплавляються при високих температурах (Cr_7C_3 приблизно при $1700^\circ C$).

Молибден – достатньо кошковий і дефіцитний легувальний елемент, з залізом сплавляється в будь-яких пропорціях, утворюючи п'ять твердих фаз і одне інтерметалідне з'єднання Fe_7Mo_6 . Молибден, зміцнюючи ферит, знижує

його пластичні властивості. Під його впливом значно зростає прогартовуваність сталі, особливо в присутності інших легуючих елементів. Він знижує її чутливість до швидкості охолодження при високому відпуску і в деяких випадках повністю знищує відпускну крихкість, що спостерігається, у багатьох сортів конструкційної легованої сталі. Молібден є сильним карбідоутворюючим елементом. З вуглецем він утворює міцний карбід Mo_2C , важкорозчинний в залізі. Із сполук молібдену з кремнієм найбільше значення має дісиліцид молібдену MoSi_2 (тпл. = 2020°C). При нагріванні на повітрі до 1550°C він не окислюється і не втрачає форму. Молібден так само володіє дуже невеликою спорідненістю до кисню, з яким утворює ряд сполук: MoO_3 і проміжний окисел Mo_4O_{11} . Молібден швидко відновлюється з цих окислів у присутності заліза. З сірою він утворює ряд сполук, з яких найбільш важливим є поєднання MoS_2 , що зустрічається в природі у вигляді мінералу молібдену. Сульфід молібдену MoS_2 плавиться при температурі $1650\text{--}1700^\circ\text{C}$. При вмісті до 2% молібден не впливає на розподіл сірки в сталі. З азотом він утворює неміцний нітрид Mo_2N . В феромолібдені розчиняється близько 0,003% азоту.

Введення легувальних елементів впливає на перлітне перетворення. Температура перлітного перетворення під впливом різних легувальних елементів може підвищуватись або знижуватись, а концентрація вуглецю в перліті знижуватись. В зв'язку з цим точка S на діаграмі $\text{Fe}\text{—}\text{Fe}_3\text{C}$ підвищується або знижується та одночасно зсувається в ліво. З цього витікає що при введенні легувальних елементів відбувається зміщення рівно вагових точок на діаграмі $\text{Fe}\text{—}\text{Fe}_3\text{C}$.

При наявності карбідоутворюючих елементів крива ізотермічного розпаду не зберігає свій звичайний C-подібний вид, а стає подвійною C-подібною кривою. На такій кривій спостерігається дві зони мінімальної стійкості аустеніту. Верхня зона мінімальної стійкості аустеніту розташовується в інтервалі температур $600\text{--}650^\circ\text{C}$. в цій зоні відбувається розпад переохолодженого аустеніту з утворенням ферито-цементитної суміші.

Необхідно мати на увазі, що карбідоутворюючі елементи підвищують стійкість аустеніту тільки в тому випадку якщо вони розчинилися в аустеніті. Якщо ж карбіди знаходяться поза межами розчину у вигляді уособлених карбідів, то аустеніт, навпаки, стає менш стійким. Це пояснюється тим, що карбіди є центрами кристалізації, а також тим, що наявність нерозчинених карбідів призводить к об'єднанню аустеніту легуючим елементом і вуглецем.

При великому вмісті хрому в сталі знаходять спеціальні карбіди хрому. Твердість такої сталі при нагріванні до більш високих температур 400 - 450°C майже не змінюється. При нагріві до більш високої температури (450 - 500°C) відбувається підвищення твердості.

Крім легувальних елементів у складі цієї сталі є домішки. Домішки – це хімічні елементи, які потрапляють до складу сталі під час її виготовлення, як технологічні добавки або як складові шихтових матеріалів.

Постійною домішкою в обраній сталі є кремній, який як домішка є практично у всіх промислових сталях. Вміст кремнію в сталі 25ХГМ складає 0,17 – 0,37 %.

Випадковими домішками в сталі можуть бути практично будь-які елементи, що випадково потрапили в сталь зі скрапу, природно-легованої руди або розкислювача.

Прихованими домішками в сталі є сірка, фосфор, миш'як і гази (водень, азот, кисень). Однак останнім часом азот, сірку, фосфор іноді використовують як легувальні домішки для забезпечення ряду особливих властивостей в сталях.

Шкідливі домішки: сірка, фосфор і гази присутні практично у всіх сталях і залежно від типу сталі вони можуть впливати на властивості по-різному.

При кімнатній температурі розчинність сірки в залізі практично відсутня. Тому вся сірка в сталі зв'язана в сульфіди заліза й марганцю, частково в сульфіди легувальних елементів. Із підвищенням температури, сірка розчиняється в α - і γ -залізі, хоча й незначно, але до цілком певних

концентрацій (0,02 % в α -залізі при 913 °С і 0,05 % в γ -залізі при 1365 °С). Тому включення сірки можуть видозмінюватися при термічній обробці сталі.

Збільшення вмісту сірки в сталях мало впливає на характеристики міцності, але істотно змінює в'язкість сталі та її анізотропію в напрямках поперек та уздовж прокатки.

Розчинність фосфору в α - і γ -залізі значно вище, ніж вміст фосфору в сталі, як домішки. Тому фосфор у сталі цілком перебуває у твердому розчині.

При підвищенні вмісту вуглецю полегшується перехід сталі в холодноламкий стан. Вважається, що кожна 0,1 % С підвищує температуру порогу холодноламкості приблизно на 20 °С і розширює перехідний інтервал від в'язкого до крихкого стану.

3.2 Дослідження процесів нітроцементатації та цементатації сталі 25ХГМ

Забезпечення працездатності деталей, що працюють в умовах підвищених контактних напружень, швидкостей обертання і температурних впливів, досягають застосуванням таких процесів термодифузійного поверхневого зміцнення як цементатація і нітроцементатація. Підвищення ефективності використання цих процесів у виробництві може бути досягнуто застосовуючи обробку в псевдозрідженому шарі.

Застосування псевдозрідженого шару при проведенні цементатації і нітроцементатації з порошкових середовищ дозволить не тільки скоротити тривалість процесу, а й зменшити витрату порошкового середовища.

У таблиці 3.1 наведена послідовність термодифузійної обробки при використанні псевдозрідженого шару.

Таблиця 3.1 - Схеми проведення термодифузійної обробки в псевдозрідженому шарі

№	Послідовність обробки сталі 25ХГМ
Нітроцементация, 870°C протягом 4 год.	
1	Нагрівання порошкового середовища до температури обробки
2	Завантаження зразків в засипку, вмикання псевдозрідження механічною вібрацією та вмикання ендоеатмосфери під кришкою флюїдизатора
3	Через чотири години винімання зразків
Цементация 900°C, 2 години	
1	Нагрівання порошкового середовища до температури обробки
2	Завантаження зразків в засипку, вмикання псевдозрідження механічною вібрацією та вмикання ендоеатмосфери під кришкою флюїдизатора
3	Через дві години винімання зразків

Мікроструктура сталі 25ХГМ після нітроцементации при температурі 870°C протягом 4 год показана на рисунку 5.

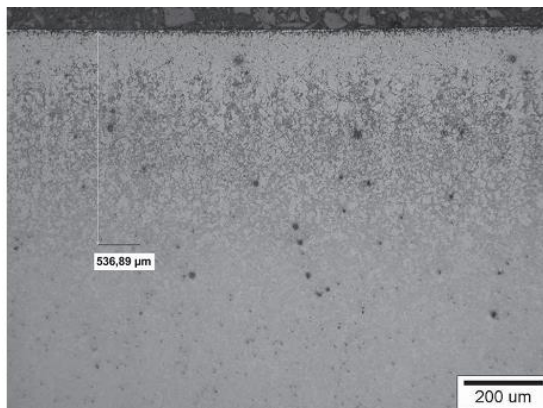


Рисунок 3.1 – Схема дифузійного шару сталі 25ХГМ після нітроцементации

Як видно з рисунку показано поверхневу карбонітридну тонку зону, як всього декілька мікрметрів, під нею дифузійна зона товщиною близько 200 мкм, а потім перехідна зона товщиною близько 0,5мм. При оптимальних

умовах насичення структура нітроцементованого шару повинна складатися з мартенситу, невеликої кількості карбонітридів і деякої кількості залишкового аустеніту (рисунок 4.3); структура серцевини з троостосорбїду, бейніту або мало вуглецевого мартенситу. В нітроцементованому шарі також допускається підвищена кількість залишкового аустеніту.

Вміст насичувальних елементів наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вміст насичувальних елементів в дифузійному шарі

Лінія елементу	Вміст елементу, % мас	Похибка, ± %мас	Вміст елементу ат. %	Похибка % мас
C K _α	17,62	±0,84	45,51	±2,17
N K _α	1,74	±1,70	3,85	±3,77
O K _α	4,22	±0,74	8,18	±1,44
Fe K _α	76,43	±1,03	42,46	±0,57
Сума	100,00	—	100	—

На рисунку 3.2 наведена залежність мікротвердості поверхні дифузійного шару після процесу нітроцементатації.

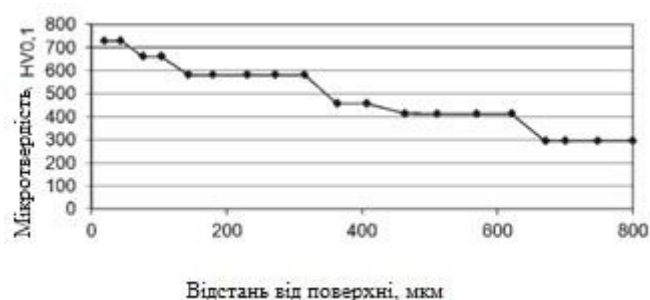


Рисунок 3.2 – Розподіл мікротвердості дифузійного шару після нітроцементатації сталі 25ХГМ

Як можна побачити з рисунку незначне зниження мікротвердості по дифузійному шарі проходить поступово і навіть на глибині 200-300 мкм

мікротвердість складає 600 HV, що достатньо високими показниками. Можна зробити припущення, що високі значення мікротвердості спричинені достатньо високою кількістю азоту на поверхні, за даними таблиці 3.2.

Цементация сталі 25ХГМ проводиться при температурі 900°C протягом 2х годин. Мікроструктура цементованого шару сталі показана на рисунку 3.3.

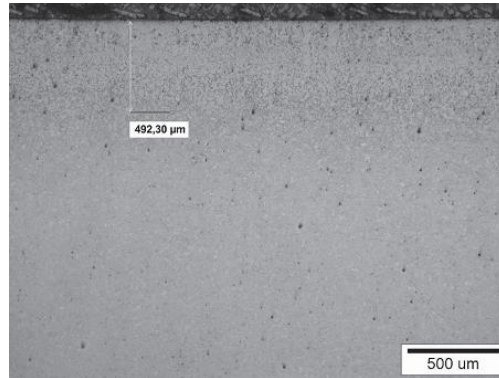


Рисунок 3.3 – Мікроструктура дифузійного шару після цементації сталі 25ХГМ

На поверхні зразка можна розрізнити тонку поверхневу зону карбідів (кілька мікрометрів), під нею дифузійна цементована зона з товщиною близько 200 мкм і далі перехідна зона - близько 0,5 мм. Структура отриманого шару аналогічна структурі шару, отриманого при здійсненні процесу нітроцементації. Крива розподілу мікротвердості наведена на рисунку 3.4.



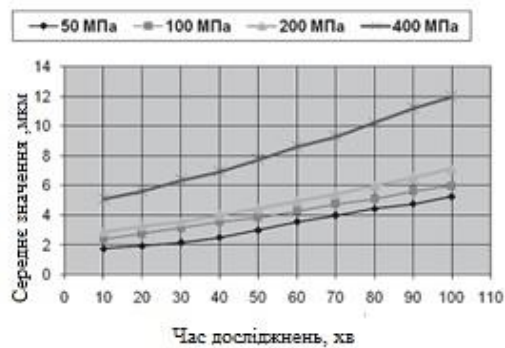
Рисунок 3.4 – Розподіл мікротвердості за товщиною дифузійного шару після цементації

Як видно з графіку зниження мікротвердості носить ступінчатий характер. І максимальні значення сягають близько 700 HV та мінімальні 200 HV. Такий розподіл може бути спричинений або недостатньою адгезією, або нерівномірним розподілом легувальних елементів.

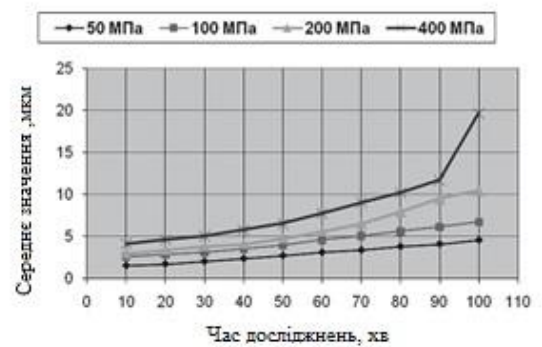
Таблиця 3.3 – Вміст насичувальних елементів в дифузійному шарі сталі 25ХГМ після цементації

Лінія елемента	Вміст елемента, % мас	Похибка, $\pm$ %мас	Вміст елемента ат. %	Похибка % мас
C K $_{\alpha}$	14.26	± 0.58	40.11	± 1.63
O K $_{\alpha}$	4.81	± 0.50	10.16	± 1.05
Si K $_{\alpha}$	0.60	± 0.09	0.72	± 0.11
S K $_{\alpha}$	0.87	± 0.09	0.92	± 0.09
Fe K $_{\alpha}$	79.46	± 1.08	48.09	± 0.66
Сума	100.00	—	100.00	—

На рисунку 3.5 наведені результати досліджень на зношення трьохвалковим методом нітроцементованих та цементованих зразків.



а



б

а - нітроцементування; б - цементування

Рисунок 3.5 – Зносостійкість сталі 25ХГМ

Як видно з рисунку 3.5 а., при дослідженнях із навантаженням 50, 100 та 200 МПа протягом заданого часу (100 хв) всі зразки рівномірно зношуються. Підвищення питомого навантаження до 400 МПа призводить до збільшення швидкості зношування зразків. За 100 хв дослідження зношення зразків складає 12 мкм. Збільшення питомого навантаження призводить до збільшення швидкості зношування нітроцементованих зразків.

Результати досліджень на зношення цементованої сталі (рисунок 3.5, б) при навантаженнях 50, 100 та 200 МПа також як і при нітроцементатації демонструють рівномірне зношення. Проте при навантаженні 400 МПа спостерігається різке зниження зносостійкості.

Отже, можна зазначити, що нітроцементатація має ряд переваг перед цементатацією сталі 25ХГМ., а саме :нижча температура процесу (850-870°C замість 900-930°C) при тій же або більшій швидкості процесу при тій самій температурі; не виділяється сажа на поверхні нітроцементованих деталей, стінках печі і нагрівачах; вище зносостійкість деталей в наслідок додаткового насичення сталі азотом; менше короблення деталей.

Можна більш детально розглянути процес нітроцементатації сталі, а саме слід відмітити, що азот знижує температуру перекристалізації аустеніту. В процесі нітроцементатації при температурі нижче точки A_3 границю аустенітної області зсуваються в бік меншого вмісту вуглецю. В результаті цього полегшується дифузія вуглецю в серцевину, в повному обсязі переходить в аустенітний стан. Тому при нітроцементатації в навідміну від цементатації при температурах серцевини нижче точки A_3 не відбувається затримки в рості нітроцементованного шару і утворюється різкий перехід від шару до серцевини.

Наявність азоту в твердому розчині підвищує стійкість перехолодженого аустеніту. У зв'язку з цим нітроцементатаційні шари мають більш високу прогартовуваність, ніж цементованого. Висока прогартовуваність шару дозволяє гартувати нітроцементовні деталі в маслі.

Прогартованість одна з найважливіших характеристик сталі – це здатність отримувати прогартований шар з мартенситною або троостомартенситною структурою, яка має високу твердість, на певну глибину. За глибину прогартованого шару приймають відстань від поверхні до серцевини шару, де в структурі однаковий об'єм мартенситу та трооститу. На рисунку 3.6 зображено смуги прогартовуваності сталі 25 ХГМ.

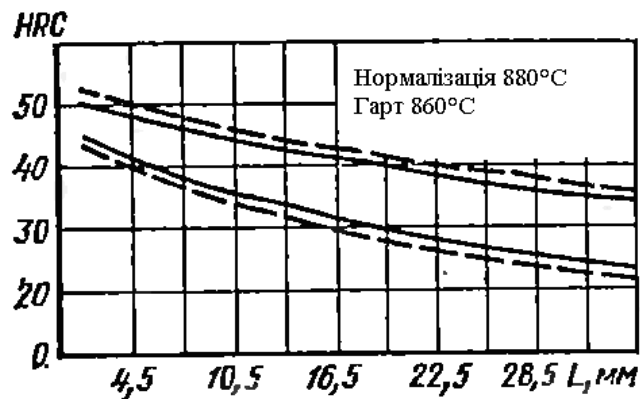


Рисунок 3.6 – Смуги прогартовуваності сталі 25ХГМ

Прогартованість одна з найважливіших характеристик сталі – це здатність отримувати прогартований шар з мартенситною або троостомартенситною структурою, яка володіє високою твердістю, на певну глибину. За глибину прогартованого шару приймають відстань від поверхні до серцевини шару, де в структурі однаковий об'єм мартенситу та трооститу.

Смуги прогартованості – лінії верхньої та нижньої границі, між якими повинні розміщуватись криві прогартованості HRC. Смуги прогартованості для сталі 25ХГМ вказані на рисунку 3.6 вказують залежність твердості HRC від L (відстань від охолоджуваного торця зразку). Зміна відстані L під час досліджень знаходиться в межах ($1 \leq L \leq 34,5$) мм з інтервалом $L = 3$ мм. При $L = 1$ мм $45 < HRC < 50$; при $L = 16,5$ мм $32 < HRC < 41$; при $L = 31,5$ мм $25 < HRC < 35$. Чим більша відстань від охолоджуваного зразку, тим гірша прогартовуваність і нижча твердість (HRC).

В сталі 25ХГМ кількість залишкового аустеніту досягає 45 – 50%. В тих випадках коли виріб після нітроцементатації проходить шліфовку, велика кількість залишкового аустеніту не бажана, бо він не лише знижує механічні властивості, але і сприяє утворенню тріщин при шліфуванні.

На рисунку 3.7 показана епюра залишкових напружень в нітроцементованому шарі сталі 25ХГМ.

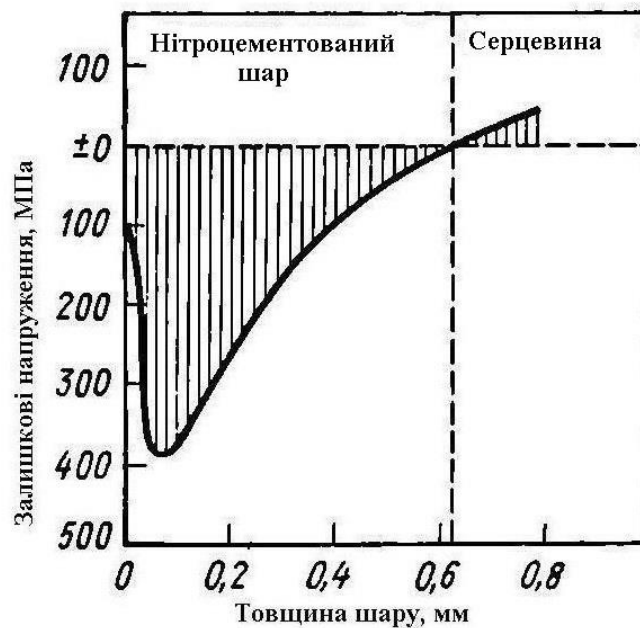


Рисунок 3.7 - Епюри залишкових напружень в нітроцементованому шарі 25ХГМ після гарту і низького відпуску

Зниження залишкових напружень в поверхневій зоні шару також пояснюється високим вмістом залишкового аустеніту. Нітроцементатація сильно підвищує границю витривалості при згині σ_{-1} .

Контактна витривалість після нітроцементатації тим вища, чим більша товщина шару і вища твердість серцевини.

Таблиця 3.4. Механічні властивості сталі після нітроцементзації.

Сталь	Товщина шару	$\sigma_{\perp}$, МПа	$\sigma_{\text{згин}}$, МПа	HRC, серцевини
25ХГМ	0,8 – 1,0	850 - 920	1700 - 1800	42 - 48

Найбільш високі механічні властивості сталі 25ХГМ після нітроцементзації досягаються при сумарному вмісті вуглецю і азоту в аустеніті 0,85 – 0,95 %. За ефективну товщину шару приймають ті ж базові параметри, що і при цементзації. Наявність в нітроцементованому шарі азоту, розчиненого в аустеніті, підвищує його стійкість. Одночасно за рахунок зняття мартенситних точок зростає кількість залишкового аустеніту.

На рисунку 3.8 приведена діаграма прогартуваності для нітроцементованого шару.

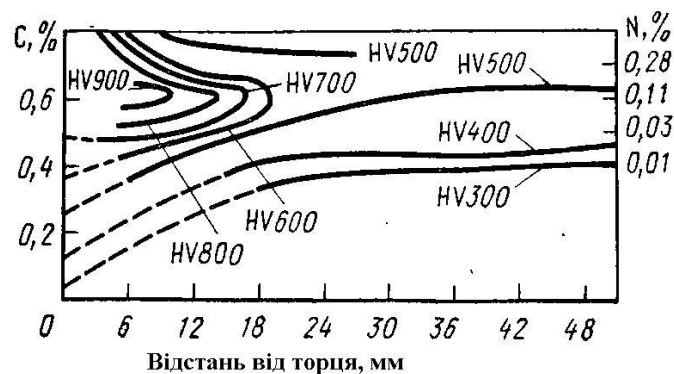


Рисунок 3.8 – Діаграма прогартуваності нітроцементованого шару на сталі 25ХГМ

В процесі нітроцементзації утворюються карбіди (нітриди) внаслідок переходу азоту в цю фазу прогартуваність може бути нижча, ніж у цементитного шару. При значній тривалості насичення прогартуваність шару при збільшенні концентрації азоту підвищується тільки до певного вмісту вуглецю. Для сталі 25ХГМ цей максимальний вміст вуглецю складає 0,6%.

3.3 Маршрутна технологія виготовлення виробів із нітроцементованим шаром

При виготовленні виробу деталь піддають термічній обробці декілька разів. В цьому випадку у маршрутній технології передбачається попередня, основна та додаткова термічна обробка.

Маршрутна технологія уявляє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей.

1. Вхідний контроль проводиться для контролю хімічного складу, розмірів, макроструктури та відсутності дефектів прокату.

2. Заготівельна операція проводиться для того, щоб отримати заготовки необхідного розміру за допомогою штампування. Вибір методів отримання початкової заготовки має велике значення на рішення задачі економії металу.

Ця проблема стоїть дуже гостро в масовому виробництві, і тому необхідно знижувати невиробничі втрати. При виборі методів отримання початкових заготовок слід враховувати втрати металу пов'язані з цими методами. Штампування в пресах є найбільш точним, економічним і продуктивним, а також, найбезпечнішим методом.

Таблиця 3.7 – Схема маршрутної технології виготовлення деталей із сталі 25ХГМ

№ п/п	Назва операції (комплексу операцій)	Цех (дільниця), де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів прокатки
2	Заготівельна	Заготівельний цех	Штапування вихідної заготовки
3	Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Нормалізація
4	Механічне оброблення	Механічний цех	Надання деталі необхідних форми та розмірів; виточування фасок, канавок; фрезерування шліців
5	Хіміко-термічна обробка	Термічний цех	Нітроцементация з безпосереднім гартуванням та подальшим низькотемпературним відпусканням

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4
6	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Шліфування і надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
7	Додаткове термічне оброблення	Механічний цех	Низький відпуск для усунення напружень після механічної обробки
8	Вихідний (завершальний) контроль	Механічний цех	Контроль відсутності дефектів на поверхні готового виробу; перевіряється мікроструктура та механічні властивості

3. Попередня термічна обробка включає в себе: нормалізація проводиться при температурах 850 - 890°C, витримується для прогрівання садки та завершення фазових перетворень і наступному охолодженні на повітрі.

4. Механічне оброблення проводиться для надання деталі необхідних форм та розмірів.

5. Хіміко-термічна обробка являє собою нітроцементацию яка проводиться в газовому середовищі при температурах 820... 900°C.

Низькотемпературний відпуск проводиться при температурах 160-180°C для зменшення напружень. Забезпечує зниження рівня

залишкових напружень, підвищує твердість, зносостійкість і границю витривалості.

Твердість після нітроцементзації і низького відпуску на поверхні 58... 62 HRC, в серцевині 30...42 HRC, глибина нітроцементовного шару h 0,30...0,7мм.

6. Остаточне механічне оброблення забезпечує остаточні розміри та стан поверхні.

7. Додаткове термічне оброблення проводиться для зняття напружень після шліфування.

8. Контрольна операція забезпечує повний контроль виробу у відповідності з робочим кресленням.

3.4 Термічна обробка деталей зі сталі 25 ХГМ

Технологія термічної та хіміко-термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення металевого виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу тощо.

До основних слід віднести нормалізацію, цементацию, гартування, відпускання.

Для низьковуглецевої сталі нормалізацію застосовують замість повного відпалення. Нормалізація полягає в нагріванні до температури, що перевищує точку A_{c3} на 40...50°C, витримці для прогрівання садки та завершення фазових перетворень і наступному охолодженні на повітрі. При нагріванні внаслідок фазової перекристалізації подрібнюється зерно аустеніту. Наступне прискорене охолодження на повітрі призводить до зміцнення сталі підвищення її твердості за рахунок утворення у структурі більш дисперсної перлитної складової (квазіевтектоїду). Це сприяє поліпшенню оброблення

різанням маловуглецевої сталі з підвищеною кількістю фериту, оскільки при цьому зменшується налипання металу на різальний інструмент, полегшуються умови різання та поліпшується шорсткість.

Нормалізацію з наступним відпусканням ($600..650^{\circ}\text{C}$) часто використовують для виправлення структури легованої сталі замість повного відпалення, оскільки тривалість цих двох операцій менша, ніж відпалення.

Нітроцементациєю називають процес насичення поверхні сталі одночасно вуглецем та азотом при $700 - 950^{\circ}\text{C}$ в газовому середовищі яке складається з науглецьованого газу та аміаку. Процес нітроцементациї отримав широке розповсюдження в машинобудування для деталей, за умовами роботи яких достатня товщина зміцненого шару $0,2 - 1,0$ мм.

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого шару повинна складатися з мартенситу, невеликої кількості карбонітридів і деякої кількості залишкового аустеніту; структура серцевини бейнітна. В нітроцементованому шарі також допускається підвищена кількість залишкового аустеніту, який забезпечує добру припрацьовуваність, що забезпечує безшумну роботу шестерень.

В якості газового середовища при нітроцементациї застосовують суміш яка складається із 2-10% аміаку і 90-98% науглецьовуючих газів, які зазвичай використовуються при газовій цементациї. Процес проходить при $850-870^{\circ}\text{C}$, а потім деталі піддають безпосередньому гарту і низькому відпуску.

Після гартування для зняття внутрішнього напруження сталь піддають низькому відпуску при температурі $180 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Температуру відпуску обирають із умов отримання максимальної міцності і ударної в'язкості, вона не повинна бути настільки високою, щоб визвати процеси розпаду залишкового аустеніту і коагуляції карбідів, що виділяються, які сприяють зниженню ударної в'язкості. Під час відпуску мартенсит гартування перетворюється в мартенсит відпускання, підвищується міцність і

знижується твердість на 1...5 одиниць HRC. Виріб після низькотемпературного відпускання буде мати високу зносостійкість.

В результаті такої обробки (нітроцементация + підстужування + низький відпуск) поверхність буде мати твердість $HRC_{\text{пов}}=60...63$, $HRC_{\text{серц}}=42...46$ і структуру $M_{\text{від}} + A_{\text{зал}} + K_{\text{П}} + H_{\text{П}}$.

До додаткових операцій можна віднести промивання виробу від мастил; контроль операцій; рихтування. Промивання здійснюється як перед термічним обробленням, так і в процесі здійснення термічного оброблення. Мета – видалення забруднень з поверхні виробу. Основний розчин для промивання: 5 – 8% водного розчину Na_2CO_3 , $t = 80...95\%$.

Для промивання використовують баки або мийні машини в яких, розчин під тиском великим струменем подається на виріб, і за 10 – 15 хв. здійснюється його високоякісне очищення.

При рихтуванні усувається короблення виробу. Причиною є пластична деформація. Її величина може сягати $\varepsilon_{\text{пл}} \approx 0,5...3\%$. Як обладнання для рихтування можна використовувати ручні преси ($d(S) < 15\text{мм}$) або гідравлічні преси ($d(S) < 200\text{мм}$).

Допоміжне обладнання забезпечує роботу основного та додаткового обладнання (обладнання для охолодження гартівної рідини, обладнання для створення розчинів для гартування). Виріб на допоміжному обладнанні не обробляється.

Для здійснення попередньої термічної обробки, нормалізації обираємо піч СНО-8.16.5/8: С-електрична, Н-камерна, О-окисне середовище, з шириною 800 мм, довжиною 1600 мм, висотою 500 мм, робочого простору з максимальною температурою нагріву до 800°C .

Розробимо схему садки:

Вироби розташовуються в садці регулярно на певній відстані один від одного. в печі використовується спеціальний прилад за допомогою якого вали завантажуються в піч в вертикальному положенні. Так як максимальний діаметр валу становить 37,5 мм, а висота його складає 457 мм, то на кожному

піддоні по довжені розташовується 28 виробів, з відстанню між виробами рівною половині діаметру валу, а по ширені розташовується 14 виробів, з відстанню також рівною половині діаметру одного валу. Тобто на кожному ярусі будуть розташовуватися 392 вали (рисунок 3.9).

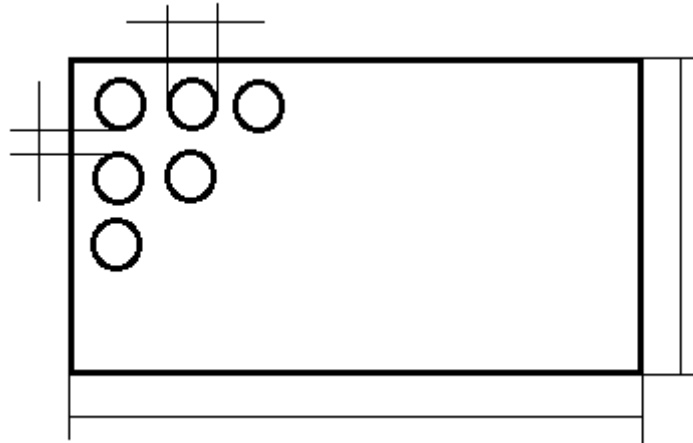


Рисунок 3.9 – Схема садки печі СНО – 8.16.5/8

Згідно за розмірами печі і величиною деталі робимо висновок що в садці може розташовуватись тільки один ярус деталей. Це означає що кількість деталей в садці дорівнює кількості деталей на одному ярусі, а саме 392 деталі.

Маса одного виробу складає 1307 г, розрахуємо масу садки:

$$M_c = n_c \cdot M_v = 392 \cdot 1307 = 512344 \text{ г} = 512,344 \text{ кг}$$

Нітроцементацию сталі 25ХГМ проводять в агрегаті для нітроцементациї типу СНЦА – 8.16. 5/10. Літера Ц в індексі означає що нагрівальне середовище цементовне. Параметри цієї печі наступні: ширина – 8 дм (800мм), довжина – 16 дм (1600мм), висота – 5 дм (500мм); максимальна температура, до якої нагрівається піч, складає 1000°C.

Далі для зняття залишкових напружень проводиться низькотемпературний відпуск, для якого використовується піч

СНО – 8.16. 5/6. Параметри цієї печі такі самі як і для нормалізації, тільки змінюється максимальна температура, до якої нагрівається піч, і вона складає 600°C.

Так як розміри обох наданих печей (для нітроцементациї та для відпуску) такі ж як в поданій вище печі для нормалізації то схема та маса садки зберігаються такими ж як і для нормалізації.

Режим термічної обробки складається з наступних параметрів: швидкість нагрівання, температура нагрівання, час витримки та швидкість охолодження.

В більшості випадків швидкість нагрівання не обумовлюється, тобто вона є величиною технічно довільною.

Нормалізація. Для попередньої термічної обробки, а саме нормалізації використовується піч СНО-8.16.5/8.

Розрахуємо час проведення відпалу, який розраховується за формулою

$$\tau_n = S \times k \times f \times L_l$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм; ($S = 18,75$ мм)

k - коефіцієнт форми; ($k = 1$)

f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв.; ($f = 2,2$)

L_l - коефіцієнт легування сталі, хв./мм. ($L = 2,15$ хв./мм)

$$\tau_n = 18,75 \times 1 \times 2,2 \times 2,15 = 24,1 \text{ (хв.)}$$

Час витримки при заданій температурі можна вважати таким, що отримується з розрахунку 1,5 – 2 хв./мм – для сталі 25ХГМ за умови їх нагрівання в електричних пристроях при відпалі. Таким чином $\tau_v = 40$ хв.

$$\text{Тоді } \tau_{\text{заг}} = 24,1 + 40 = 64,1 \text{ год.}$$

Проводять повільне охолодження на повітрі.

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п.}} - t_{\text{к.}}) / V_{\text{ох}}$$

де $t_{п.}$ – температура початку охолодження, °C

$t_{к.}$ – температура кінця охолодження, °C

$V_{ох}$ – швидкість охолодження із піччю, °C/c

$$\tau_{ох1} = (t_{п.} - t_{к.}) / V_{ох} = 850 - 20 / 5 = 166 \text{ (с.)} = 2,76 \text{ (хв.)}$$

Нітроцементация. Вироби переносяться у піч СНЦА – 8.16. 5/10 де відбувається їх нітроцементация.

Розрахуємо час проведення нітроцементации, який розраховується за формулою $\tau_{заг} = \tau_{н} + \tau_{в}$

Для визначення часу нагрівання $\tau_{н}$, можна використовувати методику приблизного розрахунку. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма тощо.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарок нагрівального середовища.

Так як виріб представлений у вигляді циліндру, то характеристичний розмір дорівнює половині діаметру заготовки, а саме $S = 18,75 \text{ мм}$.

Коефіцієнт форми обирається з таблиці і він дорівнює $k = 1$

Коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання також обирається з таблиці і він дорівнює $f = 2,2$.

Модифікований коефіцієнт легування дорівнює $L = 0,96 \text{ хв./мм}$.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання

$$\tau_{н} = 21,5 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 0,96 = 39,6 \text{ хв} = 0,66 \text{ год}$$

Час витримки при високих температурах повинен забезпечити завершення процесу насичення поверхні азотом і вуглецем на необхідну глибину. Також тривалість витримки залежить від ступеня неоднорідності, від розмірів дендритів, складу сплавів та дифузійної рухомості елементів. $\tau_{в}$ вибирається технологічно, з урахуванням діаграм ізотермічного розпаду з забезпеченням необхідних перетворень. Занадто великі витримки під час нітроцементации недоцільні, так як вони малоефективні та призводять до надмірних витрат електроенергії (палива) і до невиправданого зменшення

продуктивності. Занадто довга витримка також може призвести до збільшення насиченого шару.

Таким чином час проведення нітроцементації розраховуємо за формулою:

$$\tau_{\text{техн}} = \tau_{\text{в}} = h/V = 0,475/0,2 = 2,375 \text{ год.}$$

де h – середня глибина прогартованого шару (подана на кресленні)

V – середня швидкість насичення елементами (для нітроцементації складає 0,2 мм/год)

Важливим параметром ТО є швидкість охолодження з температур нітроцементації. Вона повинна бути достатньою щоб забезпечити гартування поверхні, запобігання виділення надлишкових фаз або забезпечувати мінімальну кількість фази, що виділяється при охолодженні з достатнім ступенем пересиченості твердого розчину. Охолодження після нітроцементації відбувається з підстужуванням до температур вище A_{c1} , після підстужування використовуємо охолоджувач – олію, тобто швидкість охолодження достатньо невисока.

Час який витрачено на нітроцементацію:

$$\tau_{\text{заг}} = 0,66 + 2,375 = 3,035 \text{ год.}$$

Розраховуємо час, який затрачено на підстужування виробу після нітроцементації. Цей час можна розрахувати за формулою:

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}}$$

$\tau_{\text{охол}}$ – час витрачений на охолодження після гартування, хв..

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура виробу, °C

$t_{\text{п}}$ – початкова температура виробу, °C

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження (для охолодження з піччю легованої сталі = 30 °C/год).

$$\tau_{\text{ох4}} = (850 - 760) / 30 = 3 \text{ (год.)}$$

Далі розраховуємо час, який затрачено для охолодження виробу після підігріву. Цей час можна розраховуємо за тією ж формулою, але так як охолодження ведеться в олії то швидкість охолодження 50 °C/c

$$\tau_{\text{ох5}} = (760 - 20)/50 = 14,8 \text{ (с.)}$$

Низькотемпературне відпускання проводять при температурі $160 \pm 5^\circ\text{C}$ в печі СНО – 8.16.5/8. Таким чином час витрачений на відпуск сплаву розраховується за формулою:

$$\tau_{\text{відп}} = \tau_{\text{заг}} + \tau_{\text{охол}}$$

де $\tau_{\text{стар}}$ – час проведення операції відпуску, хв..;

$\tau_{\text{заг}}$ – загальна тривалість нагрівання, хв..;

$\tau_{\text{охол}}$ – тривалість охолодження, хв.

Загальна тривалість нагрівання розраховується за тією ж формулою як і при нітроцементзації. Її складова саме час нагрівання розраховується за формулою, в якій такі показники, як характеристичний розмір, коефіцієнт форми та коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої залишаються такими ж, а саме $S = 18,75\text{мм}$, $k = 1$, $f = 2,2$. В розрахунках замінюється лише модифікований коефіцієнт легування $L = 2.15 \text{ хв./мм}$.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання

$$\tau_{\text{н}} = 18,75 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 2,15 = 24,1 \text{ хв.}$$

Час витримки при відпуску береться з довідникової літератури. Для валуу зі сталі 25ХГМ цей час складає 100 хвилин.

Тоді час за який проходить відпуску розраховується за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = 24,1 + 100 = 124,1 \text{ хв}$$

Далі розраховуємо час який затрачено для охолодження виробу після відпуску.

Охолодження виробу після відпуску відбувається на повітрі, тобто швидкість охолодження складає 5°C /хв. , до кімнатної температури.

Тоді час витрачений на охолодження дорівнює:

$$\tau_{\text{охол}} = (160 - 20)/5 = 28 \text{ хв}$$

Карта технологічного процесу термічної обробки представлена у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Карта технологічного процесу термічної обробки валу коробки передач.

Виріб		Технічні вимоги до матеріалу			
Вал		Матеріал	Властивості		Структура
		Сталь 25ХГМ	$\sigma_{0,2} \geq 1080 \text{ МПа}$, $\text{HRC}_{\text{пов}} = 60 \dots 63$, $\text{HRC}_{\text{серц}} = 42 \dots 46$ $\text{KCU} \geq 78 \text{ КДж/см}^2$, глибина нітроцементованого шару 0,35...0,6 мм		Структура Пов. $M_{\text{від}}$ + $A_{\text{зал}}$ + К + Н Серц. Б
Операція	Обладнання (прилади)	Умови нагрівання	Умови охолодження	Назва пристосування, кількість виробів	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6
Контроль вхідний	Вимірювальні інструменти				3% від партії. 100% - стан поверхні та розмірів
Нормлізація Нагрівання	СНО-8.16.5/8	$t = 850 \pm 10^\circ \text{C}$. $\tau_{\text{н}} = 24,1 \pm 5 \text{ хв}$		Утримувачі, садка, $n = 392$ шт.	Контролюється температура та трив. нагрів.
Витримка	СНО-8.16.5/8	$t = 850 \pm 10^\circ \text{C}$. $\tau_{\text{в}} = 40 \pm 5 \text{ хв}$	Повітря, $t \leq 20^\circ \text{C}$ $\tau_{\text{ox}} = 2,76 \text{ хв}$	Утримувачі, садка, $n = 392$ шт.	Контролюється температура та трив. витримки.

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6
Охолодження					Контролюється темп-ра та трив охол.
Нітроцементация Нагрівання	СНЦА – 8.16. 5/10	$t=850\pm 10^{\circ}\text{C}$. $\tau_{\text{H}}=39,6\pm 5\text{хв}$		Утримування, садка, $n=392$ шт.	Контролюється температура та тривалість нагрівання
Витримка	СНЦА – 8.16. 5/10	$t=850\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau=2,375$ год $\pm 5\text{хв}$		Утримування, садка, $n=392$ шт.	Контролюється температура та тривалість витримки.
Підстужування			3 піччю, $t\leq 760^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=3$ год		Контролюється температура та тривалість охолодження
Охолодження			Масло, $t\leq 20^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=14,8\text{с}$		
Контроль поточний (мікроструктура: $M_{\text{гарт}} + A_{\text{зал}} + K + H$)	ТШ, металографічний мікроскоп МІМ-7				Контроль твердості та номера зерна

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6
Низький відпуск: Нагрівання	СНО – 8.16. 5/6	$t=160\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{H}}=24,1\pm 5$ хв		Утримува чі, садка, $n=392$	Контролю ється темп ература та тривалість нагріванн я
Витримка Охолодження	СНО – 8.16. 5/6	$t=160\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{H}}=100\pm 5$ хв.	Повітря $t\leq 20^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}}=28$ хв	Утримува чі, $n=393$ шт.	Контролю ється тем- ра та трив охол
Контроль вихідний	Металогр афічний мікроско п МІМ-7, УВМ-10.				Контролю ються: $\sigma_{0,2}\geq 1080$ МПа, $\text{HRC}_{\text{пов}}=$ 60...63, $\text{HRC}_{\text{серц}}$ =42..46 $\text{KCU} \geq 78$ КДж/см^2 , глибина нітроцеме нтованого шару 0,35...0,6 мм

При чіткому дотриманні всіх технологічних параметрів і при правильному проведенні процесу термічної обробки отримують якісні вироби, що відповідають заданим вимогам.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Ринок технологій є найважливішим фактором сучасної міжнародної економіки. Сучасна ринкове середовище характеризується тим, що технології, безперервно розвиваючись, змінюють ринок, формуючи нові потреби і видозмінюючи зв'язані технологічні ланцюжки. Світові ринки технологій служать своєрідним полігоном, на якому проходять вирішальні випробування і здійснюється відбір нововведень, що розробляються в науково-дослідних і виробничо-технічних підрозділах різних країн. На думку деяких західних учених, економічний підйом після енергетичної кризи 70-х рр. XX ст. був викликаний не досягненнями фундаментальної науки, а зростаючою роллю нововведень у підвищенні промислової конкурентоспроможності та розвитком світових ринків технологій. Технологічні нововведення породжують нові способи виробництва та споживання, зачіпають всі сектори економічного і соціального життя і мають за основу свого втілення гнучкі і централізовані підприємства, здатні швидко пристосовуватися до ринку і відповідати на потреби кінцевого споживача.

Глобальний ринок термообробки тільки в машинобудуванні оцінюється в 0,9-1 млрд. доларів США. Причому, в Україні практично 99% вартості на цьому ринку створюють підприємства, що випускає кінцеву продукцію (машини та обладнання).

На відміну від вітчизняної практики, досвід розвинених країн показує, що близько 15% ринку термообробки зайнято комерційними центрами. Ці центри надають послуги не тільки з традиційних видів ТО і ХТО (гартуванню, цементації і азотуванню), але і з інноваційних методів ТО з метою отримання граничних характеристик поверхневого шару оброблюваних деталей.

Вважаючи, що розвиток ринку термообробки в Україні піде тим самим шляхом, що і в розвинених країнах, можна зробити прогноз, що обсяг ринку комерційної термообробки в Україні може становити ті ж 15% від обсягу всього ринку, тобто досягати 140-150 млн. доларів. На даний момент цей ринок комерційної термообробки практично порожній, що дає можливість його наповнення в розумні терміни.

Оволодіння передовими технологіями є ключовим моментом в досягненні конкурентних переваг національної економіки.

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання нітроцементатації сталі 25ХГМ. В таблиці 4.1 вказані техніко-економічні дані показники виробів.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники виробів

Показник	Базова технологія	Нова технологія
1. Вал	Сталь 25ХГМ	Сталь 25ХГМ
2. Технологія зміцнення	Цементатація, гартування, відпуск	Нітроцементатація (безпосереднє гартування), відпуск
3. Програма випуску, т	20	20

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів.

При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати.

Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна	Вартість, грн
Цементация			
1	2	3	4
1. Синтин	20 л/т	10800 грн/т	216
2. Мінеральна олія (веретенна)	20 кг/т	13000 грн/т	260
3. Екзогаз	120 м ³ /т	4 грн/м ³	480
4. Ендогаз	30 м ³ /т	9 грн/м ³	270
Разом			1226
Нітроцементация			
1. 20-25% NaCN; 25-50% NaCl и 25-50% Na ₂ CO ₃	8 л/т	10800 грн/т	86,4
3. Мінеральна олія (веретенна)	20 кг/т	13000 грн/т	260
Разом			346

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, п-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Цементация				
Цементация	40	4	45	1800
Високотемпературний відпуск	30	3	39	1170
Гартування	5	4	45	225
Обробка холодом	10	3	39	390
Низькотемпературний відпуск	13	3	39	507
Разом				4092
Нітроцементация				
Нітроцементация	15	4	45	675
Відпуск	50	3	39	1950
Разом				2625

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи.

Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_{\text{д}}}{100} = 4092 \times \frac{40}{100} = 1634 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_{\text{д}}}{100} = 2625 \times \frac{40}{100} = 1050 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де $K_{\text{д}}$ – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Премії з прибутку становлять 50% від основної заробітної платні .

Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} = (4092 + 1634 + 2046) \times \frac{22}{100} = 1710 \text{ грн} \text{ — для}$$

базової технології

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} = (2625 + 1050 + 1313) \times \frac{22}{100} = 1097 \text{ грн} \text{ — для}$$

нової технології

де ПП – премії з прибутку, грн;

$K_{\text{вс}}$ – % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 4092 \times \frac{400}{100} = 16368 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 2625 \times \frac{400}{100} = 10500 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де α – % загально виробничих витрат

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 400% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100} = 4092 \times \frac{400}{100} = 16368 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100} = 2625 \times \frac{400}{100} = 10500 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де β – % адміністративних витрат

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$BZ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 41398 \times \frac{2}{100} = 828 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$BZ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 26118 \times \frac{2}{100} = 522 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість виробнича, грн;

γ – % витрат на збут.

Калькуляція собівартості і ціни термічної обробки наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція собівартості і ціни термічної обробки

Статті витрат	Сума, грн (цементациї)	Сума, грн (нітроцементациї)
1	2	3
1. Матеріали на термічну обробку	1226	346
2. Основна заробітна плата основних виробничих робітників	4092	2625

Продовження таблиці 4.4

1	2	3
3. Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1634	1050
4. Відрахування на соціальні заходи	1710	1097
5. Загальновиробничі витрати	16368	10500
6. Адміністративні витрати	16368	10500
7. Собівартість виробнича	41398	26118
8. Витрати на збут	828	522

Економічний ефект від впровадження нової технології термообробки розраховується за формулою:

$$E = C_n \times k - C_6 = (26118 \times 1,7) - 41398 = 44400 - 41398 = 3002 \text{ грн}$$

де C_6 – собівартість базової технології;

C_n – собівартість нової технології;

k – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу = 1,7.

Таким чином, можна зробити такі висновки:

1) за рахунок використання нітроцементациї з безпосереднім гартуванням валів зі сталі 25ХГМ вдалося збільшити економічну ефективність у 1,7 рази в порівнянні із цементациєю.

2) використання нітроцементациї дало змогу значно зменшити тривалість та кількість операцій термічної обробки у порівнянні із базовим варіантом;

3) зменшення тривалості термічної обробки за новою технологією призведе до зниження собівартості та підвищення механічних властивостей.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській роботі на тему: Особливості легування сталей для високопродуктивних методів поверхневого насичення розглядаються заходи із охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушень правил електробезпеки, несправності електроспоживчого обладнання, відсутності захисного заземлення або занулення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

Можливість отримання механічних травм через потрапляння верхніх кінцівок в зону обертання абразивного круга при виконанні операції зачищення, внаслідок захаращеності робочої зони.

Можливість отримання термічних опіків, внаслідок торкання нагрітих поверхонь обладнання або деталей.

Негативний вплив теплового випромінювання, яке може призвести до ушкодження системи кровообігу.

Важкість праці – це така характеристика трудового процесу, що відображає переважне навантаження на опорно-руховий апарат і функціональні системи організму (серцево-судинну, дихальну та ін.), що забезпечують його діяльність. Важкість праці характеризується фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальним числом стереотипних робочих рухів, розміром статичного навантаження, робочою позою, ступенем нахилу корпусу, переміщенням в просторі.

Незадовільні параметри повітряного середовища робочої зони через неефективну роботу системи опалення та вентиляції, що може призвести до захворювань через підвищену концентрацію в повітрі газоподібних хімічних елементів, які входять до складу насичуючих атмосфер, через порушення герметичності підводу газопроводів, як наслідок – до отруєння.

Незадовільне освітлення робочої зони, що може призвести до погіршення.

Можливість загорянь, причинами яких можуть бути порушення правил пожежної безпеки, короткі замикання, що може призвести до пожежі.

Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій. Причинами неправильних дій можуть бути не досконале управління персоналу в таких умовах, відсутність навчання, інструктажів та тренінгів, що може призвести до паніки і як наслідок травмування або летального наслідку.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Заходи розробляються на основі аналізу потенційних небезпек. Обираються найбільш ефективні заходи, що спрямовані на виключення або мінімізацію негативного впливу визначених потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого процесу фізичного, хімічного, психофізіологічного характеру.

1) Для попередження ураження електричним струмом необхідно здійснювати наступні заходи захисту:

- Організаційні заходи:

До виконання робіт допускаються особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10 – 1.01 - 2000 «Правила безпечної експлуатації

електроустановок – споживачів» та отримали допуск з електробезпеки відповідної групи.

Для кожного електроспоживаючого обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи:

Всі не ізольовані токопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті. Висота розташування визначається значенням напруги: при напрузі до 1000В – не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В – не менше 6м.

Електричне блокування здійснює розрив ланцюга спеціальними контактами згідно ГОСТ 12.4.155 – 85 «ССБТ. Устройства защитного отключения. Классификация. Общетеchnические требования.» Наприклад, завантаження та розвантаження садки з термічної печі виконується тільки при автоматичному відключенні струму блокуючими пристроями.

Захисне заземлення або занулення. Принцип дії захисного заземлення або занулення полягає у зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка обумовлена замиканням на корпус. Електрообладнання необхідно заземлювати або занулювати у відповідності з ПУЕ - 2009 «Правила улаштування електроустановок».

При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту в відповідності з НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей», НПАОП 40.1-1.01.97 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок».

2) Заходи безпеки щодо герметичності трубопроводів, що подають робочі гази до робочого місця:

Шланги повинні бути тільки армованими.

Поєднання шлангів гладкими з'єднувачами не допускається.

Поєднання шлангів виконується тільки хомутом.

Герметизація проривів ізоленотою не допускається – необхідно пошкоджену ділянку вирізати і поєднати з'єднувачем (йорж) або хомут.

Використовувати шланги для подачі газів тільки за призначенням.

3) Заходи з безпеки для виключення можливості вибухів газоповітряної суміші при виконанні операції цементація.

При хіміко-термічній обробці найбільше значення має витиснення повітря з робочого об'єму печі перед подачею насичувальних газів.

Перед початком виконання операцій хіміко-термічної обробки передбачена продувка реторти печі азотом для видалення повітря протягом не менше 1 години. Кількість азоту подається із розрахунку 3-5 кратного газообміну, при надлишковому тиску в реторті 0,5 атм. В період продувки реторти азотом необхідно виконати випробування герметичності методом омилування усіх місць з'єднання та зварних швів.

Подача робочих газів у реторту можлива тільки при температурі не менше 760°C (поріг безпеки). Для виконання цієї умови технологічне обладнання повинно бути оснащено автоматичними пристроями, які блокують подачу робочих газів при невиконанні цієї умови.

Сучасне термічне обладнання для ТО оснащується полум'яними завісами, що встановлені перед отвором для завантаження. Значення цієї завіси полягає у недопущенні проникнення повітря у робочий простір печі, де у цей час знаходяться робочі гази. Сполука робочих газів з повітрям при температурах ТО неминуче приведе до вибуху. З огляду на це примусове зняття полум'яної завіси під час виконання операцій неприпустиме.

В аварійних ситуаціях, що пов'язані з неможливістю подачі робочих газів у реторту під час проведення операцій ТО слід негайно забезпечити подачу азоту для заміщення вибухонебезпечної газової суміші.

По закінченні терміну витримки деталей при ТО необхідна продувка реторти печі азотом для видалення робочого газу протягом не менше 1

години. Кількість азоту подається із розрахунку 3-5 кратного газообміну, при надлишковому тиску в реторті 0,5 атм.

4) Захист від теплового випромінювання.

Основними заходами захисту є використання індивідуальних засобів захисту:

- спеціального одягу згідно ГОСТ 12.4.045 – 87 «Костюмы мужские для защиты от повышенных температур. Технические условия»;
- рукавиць згідно ГОСТ 12.4.010 – 75 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия.»;
- групові засоби захисту: повітряні завіси між джерелами теплового випромінювання та зонами, де знаходяться робітники.

У деяких випадках, наприклад, при гартуванні деталей з високолегованих сплавів при температурах більш 1100⁰С використовують азбестові фартухи та рукавиці.

5) З метою безпечного виконання технологічних операцій ТО до робіт допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд і отримали допуск до робіт. До робіт залучаються особи, що отримали певні знання за спеціальністю, які підтверджуються документом встановленого зразка. До роботи допускаються особи, які пройшли всі інструктажі і стажування, які передбачені КЗоТ і правилами допущення до робіт конкретного підприємства.

Доцільно використовувати стимулювання належного виконання правил охорони праці і невідворотність покарання за їх порушення.

6) Для організації робочих зон при виконанні операцій ТО передбачено:

Робочі місця термістів повинні відповідати відповідним вимогам ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам», ГОСТ 12.2.032-84 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

Структуру ділянок термічної та хіміко-термічної обробки можна уявити в наступному вигляді:

Норми безпеки визначають:

- площа на одного працюючого не менше $4,5 \text{ м}^2$;
- висота робочої зони від підлоги до стелі не менше 3,2 м;
- об'єм, що припадає на одного працюючого, не менше 15 м^3 .

Розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Кольорове рішення технологічного обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.026-76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности».

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Організація оптимального освітлення робочої зони:

Для забезпечення необхідного рівня виробничого освітлення слід дотримуватися вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру зорової роботи. Передбачено формування систем освітлення з використанням дугових ламп ДРЛ та світильників ГСП.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: устрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища у відповідності до норм, які вказані в таблиці 4.1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія».

В холодний період року для забезпечення оптимальної температури виробничого приміщення слід використовувати систему водяного опалення та подавати зовнішнє повітря через калорифери.

Таблиця 5.1 – Оптимальні фізичні параметри повітряного середовища цеху

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18 - 22	40 - 60	0,1 – 0,3
Теплий	20 - 23	40 - 60	0,1 – 0,4

В теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або загально обмінну приточно-витяжну вентиляцію згідно ГОСТ 12.4.021-75 «СССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования».

В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення необхідного повітрообміну в теплий період року, передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентиляції відповідно ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования».

Розрізняють чотири основні схеми організації повітрообміну при загальнообмінній вентиляції: зверху вниз, зверху вверх, знизу вверх, знизу вниз (рис. 5.1). Схеми зверху вниз (рис. 5.1, а) та зверху вверх (рис. 5.1, б) доцільно застосовувати у випадку, коли припливне повітря в холодний період року має температуру нижчу температури приміщення.

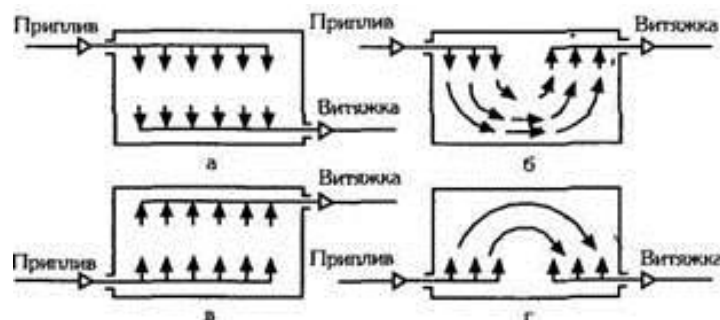


Рисунок 5.1 – Схема організації повітрообміну при загально обмінній вентиляції

Припливне повітря перш ніж досягти робочої зони нагрівається за рахунок повітря приміщення. Інші дві схеми (рис. 5.1, в та г) рекомендується використовувати тоді, коли припливне повітря в холодний період року підігрівається і його температура вища температури внутрішнього повітря

Основне завдання розрахунку загальнообмінних систем штучної вентиляції — визначити кількість повітря, що необхідно подати і вилучити з приміщення. При розрахунку вентиляції в цехах, повітрообмін, як правило, визначають розрахунковим шляхом за конкретними даними про кількість шкідливих виділень (теплоти, вологи, парів, газів).

Розрахунок повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти.

$$L_v = \frac{Q \cdot 3600}{C \cdot \rho \cdot (t_{вн} - t_{нр})}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.1)$$

де Q – надлишок теплоти в виробничому приміщенні, складає 37кВт;

C – масова теплоємність припливного повітря, що дорівнює 1кДж/(кг·°С);

ρ_v – густина припливного повітря, що дорівнює 1,2кг/м³;

$t_{вн}$ – температура з приміщення повітря, °С;

$t_{нр}$ – температура припливного (зовнішнього) повітря, °С.

Температура зовнішнього повітря відповідно до СНиП 2.04.05-91. У «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования» для м. Запоріжжя складає:

Для зимового періоду року (-8°С);

Для літнього періоду року (+27°С).

Температуру видаляемого з приміщення повітря знаходять за виразом:

$$t_{внд} = t_{норм} + \Delta t \cdot (H_{ц} - 2), \text{ °С} \quad (5.2)$$

де $t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, обирається за ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, в залежності від категорії робіт», складає 18-20°C;

Δt – градієнт температури, що приймається для виробничих приміщень рівним 1,5 град/м;

$H_{\text{ц}}$ – відстань від підлоги до центра витяжних проїомів, м.

$$H_{\text{ц}} = H - 1, \text{ м} \quad (5.3)$$

де H – висота приміщення, складає 8м.

$$H_{\text{ц}} = 8 - 1 = 7 \text{ м}$$

$$t_{\text{внд}} = 20 + 1,5(7-2) = 27,5^{\circ}\text{C}$$

Розрахунок повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти для зимового періоду:

$$L_{\text{в}} = \frac{37 \cdot 3600}{1 \cdot 1,2 \cdot (27,5 - (-8))} = 3126,7 \text{ м}^3 / \text{год}$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Для попередження пожежі та вибухів на ділянках передбачені такі заходи наявності первинних засобів пожежогасіння, зберігання легкозаймистих речовин у герметично закритій тарі або у витяжних шафах.

В комплексі заходів, що використовуються в системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найбільш раціональних способів та засобів гасіння різних горючих речовин матеріалів згідно зі СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений».

Приміщення підрозділів термічної обробки мають категорію по пожежній небезпеці «Д», тому особливих мір захисту не передбачається. Використовуються пінні і вуглекислотні вогнегасники, кошма, ящики з піском. Приміщення підрозділів ХТО мають категорію по пожежній небезпеці В, тому потребують додаткових заходів з пожежної безпеки. Наприклад, встановлення мідних пластин для зняття зарядів статичної електрики на вході у приміщення для зберігання легкозаймистих технологічних матеріалів. В деяких випадках устрій системи пожежогасіння за допомогою азоту.

Площа ділянки складає 1728 м². Виходячи з цього згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обирається чотири вуглекислотних вогнегасника ємністю 18 кг кожний, а також необхідна наявність одного пожежного щита.

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Інформування, оповіщення і дії робітників та службовців промислового об'єкта, при загрозі виникнення надзвичайної ситуації.

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій полягає у своєчасному доведенні інформації органам управління цивільного захисту, силам цивільного захисту, суб'єктам господарської діяльності і населенню.

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій забезпечується шляхом:

а) функціонування загальнодержавної, територіальних, місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, спеціальних, локальних і об'єктових систем оповіщення;

б) централізованого використання телекомунікаційних мереж загального користування, в тому числі мобільного зв'язку, відомчих телекомунікаційних мереж і телекомунікаційних мереж об'єктів господарської діяльності, а також мереж загальнонаціонального, регіонального та місцевого радіомовлення, телебачення та інших технічних засобів передачі або відображення інформації;

в) автоматизації процесу передачі сигналів і повідомлень про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій;

г) функціонування на об'єктах підвищеної небезпеки автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення;

д) організаційно-технічної інтеграції різних систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій та автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення;

е) функціонування в населених пунктах та місцях масового перебування людей сигнально-гучномовних пристроїв, а також електронних інформаційних табло для передачі інформації цивільного захисту.

Інформацію щодо цивільного захисту становлять відомості про прогнозовані або про ті, що відбулися надзвичайні ситуації. Ці відомості повинні включати: класифікацію, межі розповсюдження і можливі наслідки НС, а також про способи і методи захисту від них.

Органи управління цивільного захисту зобов'язані надавати населенню через засоби масової інформації оперативні та достовірні дані про ситуацію обстановці, а також інформувати про свою діяльність з питань цивільного захисту. Керівники потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки, зобов'язані систематично і оперативно публікувати інформацію про ці об'єкти в офіційних друкованих виданнях, на офіційних веб-сайтах, інформаційних стендах, а також доводити будь-яким прийнятним способом. Інформація повинна містити дані про об'єкт, сферу його діяльності, про природу можливих ризиків при аварії, включаючи вплив на людей і

навколишнє середовище, а також про способи інформування населення у разі загрози або виникнення аварії та порядку дій при її виникненні. Поширення інформації про наслідки надзвичайної ситуації здійснюється відповідно до законодавства про інформацію.

Як висновок можемо сказати, що для попередження або мінімізації негативного наслідку шкідливих факторів виробничих процесів термічної обробки слід планувати та здійснювати певний комплекс заходів захисту.

Заходи по забезпеченню належного рівня професійної підготовки фахівців, до роботи допускаються особи, які пройшли всі інструктажі і стажування, які передбачені КЗоТ і правилами допущення до робіт конкретного підприємства.

Що до електробезпеки необхідно вживати організаційні та технічні заходи, а саме, до виконання робіт допускати особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки. При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту.

Необхідно враховувати заходи безпеки, щодо герметичності трубопроводів, шланги повинні бути тільки армованими, поєднання шлангів гладкими з'єднувачами не допускається, використовувати шланги для подачі газів тільки за призначенням та ін.

Для захисту від теплового випромінювання обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту (спеціального одягу, рукавиць, повітряні завіси та ін.).

Організація робочого місця повинна відповідати певним вимогам нормативних документів, площа на одного працюючого не менше 4,5 м², розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища слід використовувати систему водяного опалення та подавати зовнішнє

повітря через калорифери, в теплий період року необхідно використовувати природну вентиляцію, або загально обмінну.

Для попередження пожежі та вибухів на ділянках передбачені наявність первинних засобів пожежогасіння, зберігання легкозаймистих речовин у герметично закритій тарі або у витяжних шафах. Використовуються пінні і вуглекислотні вогнегасники, кошма, ящики з піском.

Для забезпечення *безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації* необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів згідно ДСТУ 3891-99 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять, встановлення систем передавання тривожних сповіщень та устаткування згідно ДСТУ prEN 50136-1-1:2004 Системи тривожної сигналізації. Системи передавання тривожних сповіщень та устаткування. Частина 1-1. Загальні вимоги до систем передавання тривожних сповіщень.

Надзвичайною ситуацією називається порушення нормальних умов життя людей на об'єкті або території, які викликані аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епіфіотією, епізотією, великими пожежами, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських втрат і матеріальних збитків.

Важливим фактором забезпечення безаварійної роботи є вивчення і суворе дотримання всіма інженерно-технічними працівниками правил і норм техніки безпеки. Основними заходами по ліквідації наслідків аварій і стихійних лих є:

- оповіщення робітників і службовців, ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкту, екстрена евакуація;
- комплексна розвідка об'єкту на якому виникла аварія;
- рятування людей з-під завалів, із оточуючих і ушкоджених будівель і споруд;
- надання медичної допомоги потерпілим від аварії, вивіз у лікувальні установи;

- гасіння пожеж;
- локалізація аварії на комунально-енергетичних мережах, перешкоджаючих веденню рятувальних робіт;
- улаштування проїздів і підходів до місць аварій;
- руйнування ненадійних конструкцій, розбирання завалів;
- демонтаж вцілілого устаткування, якому загрожує небезпека;
- організація комендантської служби.

Таким чином в проекті надано основні заходи з охорони праці для ділень термічної обробки:

- Для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені організаційні та технічні заходи, які передбачають : проведення навчань з правил електробезпеки, перевірку знань та атестацію персоналу на четверту або третю групу з електробезпеки, експлуатація та ремонт обладнання повинні здійснюватись спеціально підготованим персоналом, використання захисного заземлення та занулення, розташування струмопровідних частин на недоступній висоті.

- Для виключення механічних травм на абразивних кругах необхідно щоб, устрій підлокітника повинен знаходитися в правильному положенні, відстань між кругом і підлокітником не перевищувала 3 мм, абразивний круг повинен бути захищений кожухом.

- Для уникнення термічних опіків та теплового випромінювання передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціювання приміщення.

Робоче приміщення повинно бути оснащене штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення освітленості робочої площини.

Для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки. Основними організаційними заходами є наявність інструкцій з пожежної безпеки, план і евакуації співробітників в разі пожежі. Основними технічними засобами пожежної безпеки є оснащення будівлі пожежним інвентарем і підтримка його в робочому стані, а також первинними засобами пожежегасіння: вогнегасниками, системами сповіщення.

Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуті основні процеси при проведенні хіміко-термічної обробки, на прикладу сталі 25ХГМ порівняно процеси цементації та нітроцементації, зазначені переваги проведення нітроцементації Хімічний і фазовий склад дифузійних покриттів на сталі 25ХГМ досліджено за допомогою рентгеноструктурного і мікрорентгеноспектального аналізів. Дифузійні покриття на основі азоту та вуглецю можуть бути використані із використанням в вузлах тертя – ковзання зі змазкою в широкому діапазоні питомих навантажень від 50 до 400 МПа. Найбільшу стійкість при середніх та високих навантаженнях показують зразки із нітроцементованим шаром. Розраховано час нагрівання на прикладу валу, складено технологічну карту. Розраховано суму економічного ефекту, розглянуті питання із охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лыгденов Б. Д., Гурьев А. М. Перспективные диффузионные покрытия. *Международный журнал экспериментального образования*, 573-573, 2015.
2. Шатинский В.Ф. Защитные диффузионные покрытия. Киев. Наукова думка, 1988. 272 с.
3. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. 256 с
4. Попов А. А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. М.: Металлургиздат, 1962. 120 с.
5. Борисенок Г.В, Васильев Л.А, Ворошнин Л.Г. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник. М.: Металлургия, 1981. 424 с
6. Кришталл М. А. Механизм диффузии в железных сплавах. М. : Металлургия, 1972. 400 с.
7. Кришталл М.А. Многокомпонентная диффузия в металлах. Металлургия, 1985. 176 с
8. Гуров К. П. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. М.: Наука, 1981. 352 с.
9. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов: Монография. М.: Изд. МГТУ им Баумана, 1999. – 400 с
10. Петрова Л.Г, Александров В.А, Поверхностное упрочнение сталей методами химико-термической обработки в многокомпонентных средах. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2012, 6: 17-21.
11. Коган Я. Д. Научно-исследовательские работы школы ЮМ Лахтина в развитии современных технологий поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2010, 5: 5-14.

12. Шубин Р. П., Гринберг М. Л. Нитроцементация деталей машин. М.: Машиностроение. 1975. С. 205.
13. Серебровский В. В. Колмыков, Д. В., Бедин, В. В. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012. №. 7.
14. Серебровский В. И. Применение низкотемпературной нитроцементации для упрочнения деталей машин. *21 век: фундаментальная наука и технологии*. 2015. С. 99-101.
15. Блинков Б. С., Серебровский В. И., Калуцкий Е. С. Применение нитроцементации для упрочнения деталей машин. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2015. №. 7.
16. Серебровский В. В., Блинков Б. С., Сабынин Е. А. Влияние нитроцементации на прочность деталей машин. *Региональный вестник*. 2016. №. 2. С. 35-36.
17. Емельянов С. Г., Сальников В. Г., Колмыков В. И. Поверхностное упрочнение восстановленных деталей машин химико-термической обработкой-перспективное направление развития ремонтного производства. *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. №. 6-2. С. 115а-119.
18. Герасимов С. А. Влияние активизации процесса нитроцементации на механические свойства теплостойких сталей. *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2015. №. 1. С. 55-61.
19. Кухарева Н. Г., Бабуль Т., Шипко А. А. Цементация и нитроцементация стали 20 в псевдооживленном слое. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2013. № 3 (24) С 62-68.
20. Кухарева Н. Г., Шипко А. А., Штолик Т. Н. Теория и практика химико-термической обработки стальных изделий в псевдооживленном слое. *Актуальные вопросы машиноведения*. 2013. Т. 2. С. 433-436.
21. Основы экономики и технологии важнейших отраслей хозяйства: учебное пособие .Н. В. Кавкаева. М. Берлин: Директ-Медиа, 2015. 236 с.
22. Жидецкий В.Ц. Основы охраны труда Л.:Афиша, 2000. 351 с.

23. Арустамов Э.А. Охрана труда: Справочник .М.: Дашков и Ко, 2008. 588 с.
24. Леонова А.Б. Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития: Хрестоматия .М.: Радикс, 1995. – 448 с.
25. Основи охорони праці: Навч. посіб.. В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. 2–ге вид.,перероб. і доп. Х.: Факт, 2007. – 480 с.
26. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. 36 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1- Хімічний склад сталі 25 ХГМ, % мас.

C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S
0.23-0.29	0.9-1.2	0.2-0.3	0.9-1.2	0.17-0.37	≤0.035	0.035

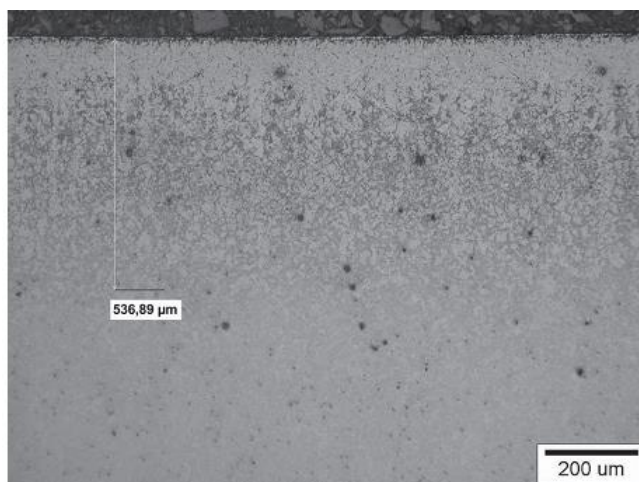


Рисунок А.1 – Схема дифузійного шару сталі 25ХГМ після нітроцементзації

Таблиця А.2 – Вміст насичувальних елементів в дифузійному шарі

Лінія елементу	Вміст елементу, % мас	Похибка, ± %мас	Вміст елементу ат. %	Похибка % мас
C K _α	17,62	±0,84	45,51	±2,17
N K _α	1,74	±1,70	3,85	±3,77
O K _α	4,22	±0,74	8,18	±1,44
Fe K _α	76,43	±1,03	42,46	±0,57
Сума	100,00	—	100	—

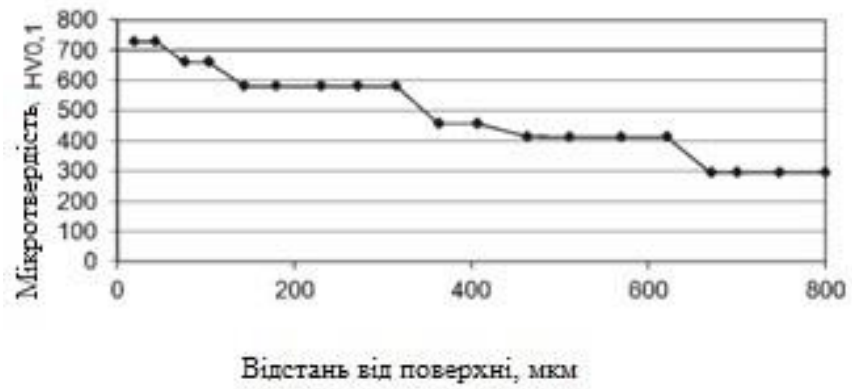


Рисунок А.2 – Розподіл мікротвердості дифузійного шару після нітроцементатації сталі 25ХГМ

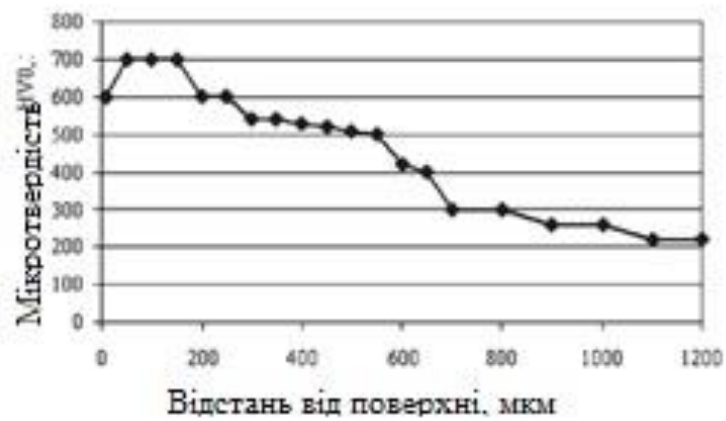


Рисунок А.3 – Розподіл мікротвердості за товщиною дифузійного шару після цементатації

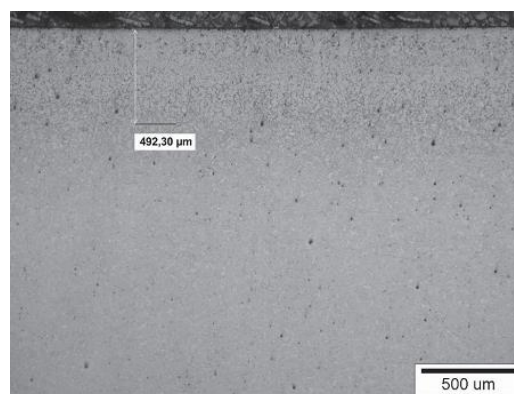


Рисунок А.4 – Мікроструктура дифузійного шару після цементатації сталі 25ХГМ

Таблиця А.3 – Вміст насичувальних елементів в дифузійному шарі сталі 25ХГМ після цементації

Лінія елементу	Вміст елементу, % мас	Похибка, ± %мас	Вміст елементу ат. %	Похибка % мас
C K _α	14.26	±0.58	40.11	±1.63
O K _α	4.81	±0.50	10.16	±1.05
Si K _α	0.60	±0.09	0.72	±0.11
S K _α	0.87	±0.09	0.92	±0.09
Fe K _α	79.46	±1.08	48.09	±0.66
Сума	100.00	—	100.00	—