

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему Нітроцементация низьковуглецевої сталі 20
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФз-211сп

Спеціальності: 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

Прикладне матеріалознавство

КОНДРАК С.Г.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГРЖОН В.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ПАВЛЕНКО Д.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 132 Матеріалознавство

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ В.Ю.

« _____ » _____ 2024 року

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

КОНДРАК Світлани Григорівни

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи): Нітроцементация низьковуглецевої сталі 20

керівник проєкту (роботи) д. ф-м. н. , професор ГІРЖОН Василь Васильович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 16 » квітня 2024 року № 144

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 25 травня 2024 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) сталь 20

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд. 2. Матеріали та методи дослідження. 3. Результати та їх обговорення. 4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) 11 слайдів

6. Консультанти дипломного проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ГІРЖОН В.В. д. ф-м.н., професор		
2	ГІРЖОН В.В. д. ф-м.н., професор		
3	ГІРЖОН В.В. д. ф-м.н., професор		
4	НЕСТЕРОВ О.В. к.т.н., доцент		
н/к	ФАСОЛЬ Є.О. старший викладач		

7. Дата видачі завдання « 10 » березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	26.03.24	
2	Матеріали та методи дослідження	05.04.24	
3	Результати та їх обговорення	12.05.24	
4	Охорона праці	25.05.24	

Студент(ка) _____ Світлана КОНДРАК
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____ Василь ГІРЖОН
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 72 с., 2 табл., 9 рис., 26 джерел.

СТАЛЬ, ВЛАСТИВОСТІ, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ, КАРБОНІТРИДИ, ХІМІКО ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТЕМПЕРАТУРА, МІКРОСТРУКТУРА, АТМОСФЕРА

Тема роботи: Нітроцементация низьковуглецевої сталі 20

Мета роботи: дослідження структурних змін у поверхневих шарах сталі 20 після нітроцементации, аналіз фізико-механічних властивостей поверхневих шарів зразків після хіміко-термічної обробки.

Встановлено, що в результаті використання газової нітроцементации поверхневі шари сталі 20 зміцнюються зі зростанням мікротвердості за рахунок дифузії атомів азоту та вуглецю і формування дисперсних нітридів та карбонітридів. Показано, що оптимальні властивості досягаються після нітроцементации, гартування та послідуєчого низькотемпературного відпуску, що призводить до формування структури дисперсного мартенситу з тією чи іншою кількістю залишкового аустеніту (20 – 40%, в залежності від технологічних режимів процесу).

ЗМІСТ

Перелік умовних посилань та скорочень	7
Вступ.....	8
1 Літературний огляд	10
1.1 Методи поверхневого зміцнення деталей із сталі	10
1.2 Хіміко-термічна обробка	11
1.2.1 Цементация.....	12
1.2.2 Азотування.....	14
1.2.3 Ціанування.....	15
1.2.4 Борування та силіціювання.....	17
1.2.5 Дифузійна металізація.....	19
1.3 Нітроцементация	21
1.3.1 Сутність процесу нітроцементация.....	22
1.3.2 Одночасне насичення поверхні сталі вуглецем і азотом	22
1.3.3 Температура процесу	24
1.3.4 Основні фази в системі Fe-C-N.....	26
1.3.5 Структура та властивості поверхневих шарів сталей після нітроцементация, проведеної за різними режимами	30
2 Матеріали та методи дослідження	34
2.1 Виготовлення і хіміко-термічна обробка зразків	34
2.2 Металографічний аналіз	38
2.3 ДюрOMETричний аналіз	40
3 Результати та їх обговорення	43

	1
3.1 Структура та хімічний склад сталі 20 у вихідному стані.....	43
3.2 Структурно-фазовий стан та властивості поверхневих шарів зразків після нітроцементатії.....	43
4. Охорона праці.....	49
4.1 В цьому розділі наведені основні небезпечні фактори , які можуть виникнути при обробці зразків на всіх етапах виконання.	49
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки.	50
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.	52
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	56
Висновки.....	58
Перелік джерел посилань	59
Додаток А	62

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ХТО – хіміко-термічна обробка

HRA, HRC – твердість за Роквеллом

HV – твердість за Вікерсом

ВСТУП

Попит на продукцію машинобудування зростає кожний рік. У зв'язку з цим виникає необхідність у поліпшенні експлуатаційних характеристик механічних деталей. Для вирішення цієї проблеми потрібна зміна структури матеріалу не всієї деталі, а лише її поверхневого шару. Це обумовлено тим, що руйнування матеріалу починається саме з його поверхневих шарів, що призводить до зниження поверхневої міцності матеріалу, а й до погіршення роботи деталі (утворення різних дефектів поверхні, її руйнування під час експлуатації тощо).

Перспективними напрямками в розвитку технології поверхневого зміцнення є вдосконалення методів, що дозволяють формувати захисні шари, які містять тугоплавкі сполуки, такі як нітриди, карбіди і др. Такі сполуки в сталях виникають при взаємодії елементів неметалів (вуглець, азот, бор) з залізом та легуючими елементами (для легованих сталей). Для матеріалів з захисним шаром характерні високі показники твердості, зносостійкості та теплостійкості. Для підвищення експлуатаційних характеристик деталей шляхом зміни структури їх поверхневих шарів застосовують різні технології обробки матеріалів. Одним із найпоширеніших методів є термічна обробка поверхні, така як цементування, нітроцементация.

Тому вдосконалення методу дифузійного насичення є сьогодні дуже важливим питанням. Крім простого насичення поверхні сталевих виробів одним елементом також можуть бути використані складні види насичення атомами двох або більше різних хімічних елементів.

Нітроцементация – це одночасне насичення поверхневого шару деталі атомами двох елементів – вуглецю та азоту. Нітроцементация має ряд переваг, що дозволяють використовувати її замість газової цементации: температура проведення нітроцементации нижче в порівнянні з цементацией, що підвищує

продуктивність, довговічність пічного обладнання, а також скорочує тривалість процесу. Наявність азоту в твердому розчині аустеніту дозволяє гартувати деталі з нелегованої сталі в маслі безпосередньо після нітроцементації. Після гартування деталей у поверхневих шарах утворюється вуглецево-азотистий мартенсит та залишковий аустеніт. Така структура поверхневих шарів призводить до збільшення міцності, ударної в'язкості, міцності на згин та зносостійкості деталей після обробки.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Методи поверхневого зміцнення деталей із сталі

Поверхнєве зміцнення деталей із сталі проводять для підвищення надійності найважливіших елементів конструкцій і стійкості конструкційних матеріалів до різних несприятливих умов [1] (таких як високо циклічних навантажень, агресивних середовищ, значних температурних коливань).

Змінити властивості поверхні можна у різний спосіб, їх можна умовно поділити на два види:

- нанесення на поверхню нового матеріалу з необхідними властивостями (нанесення на поверхню гальванічних покриттів та неметалевих матеріалів – емалі, фарби та різних синтетичних матеріалів);

- зміна складу поверхневого шару металу, що забезпечує бажану зміну властивостей (поверхневий шар металу піддають дифузійній хіміко-термічній обробці, в результаті якої на поверхні утворюється новий сплав) [8].

Ці методи використовуються для різноманітних процесів умови яких не однакові: в газовому середовищі; в рідині; в пасті; з використанням чи без теплоти при нормальному, високому або підвищеному тиску; у низькому, середньому або високому вакуумі; у воді, водо-газовій парі, у контрольованій атмосфері ендогазу або екзогазу, у електропровідному або діелектричному середовищі, у середовищі з поверхнево-активними або полірувальними властивостями. Вибір комбінації зовнішніх умов характеризує специфічні особливості технічного процесу [2, 3].

1.2 Хіміко-термічна обробка

Дифузійне насичення досягається за допомогою ХТО, яка призводить до зміни хімічного складу, мікроструктури та властивостей поверхневого шару виробу. Вид ХТО залежить від властивостей, які надаються поверхневому шару металевому виробу [3].

Процес ХТО складається з трьох послідовних стадій:

- утворення активних атомів у насичуючому середовищі біля поверхні або на поверхні металу. Швидкість дифузійного потоку, тобто кількість активних атомів що утворилися за одиницю часу, залежить від складу і агрегатного стану насичуючого середовища (воно може бути твердим, рідким чи газоподібним), взаємодія окремих складових між собою, тиску, температури та хімічного складу сталі;

- адсорбція (поглинання) активних атомів що утворилися насиченою поверхнею. Адсорбція – це складний процес, який відбувається на поверхні насичення нестационарним чином. Розрізняють фізичну і хімічну адсорбцію. При хіміко-термічній обробці ці два типи адсорбції накладаються одна на іншу. Фізична адсорбція призводить до зчеплення адсорбованих атомів елемента, яким насичується поверхня. Для фізичної адсорбції характерний незначний зворотній процес – десорбція. При хімічній адсорбції (хемосорбції) проходить хімічна взаємодія між атомами адсорбату і адсорбенту;

- дифузія – це переміщення адсорбованих атомів у кристалічній ґратці металу. Дифузійні процеси можливі тільки при досить високих температурах, за умови якщо дифундуючі елементи розчинені в оброблюваному матеріалі [4].

Товщина дифузійного шару, а отже відповідно і товщина зміцненого шару поверхні виробу, є найважливішою характеристикою ХТО. Товщина шару визначається рядом факторів, включаючи температуру насичення, час процесу насичення, хімічний склад сталі і градієнт концентрації адсорбенту на поверхні виробу і в глибині шару насичення.

До дифузійного насичення відносяться такі типи процесів: цементация – насичення поверхні виробів вуглецем, азотування – насичення поверхні азотом, нітроцементация та ціанування – одночасне введення в поверхневі шари вуглецю і азоту. Також є інші методи насичення поверхневих шарів сталі іншими елементами (хромом – дифузійне хромування, бором – борування, кремнієм – силіціювання, алюмінієм – алітування, кремнієм та алюмінієм – алюмосиліціювання та інше), що використовуються значно рідше [4, 5].

1.2.1 Цементация

Цементацияю називається процес насичення поверхневого шару сталі вуглецем. Є два основні види цементации: цементация в твердому карбюризаторі (вуглецеві суміші) і газова цементация [5]. Мета цементации це отримання твердої та зносостійкої поверхні, що можливо досягти шляхом збагачення поверхневого шару вуглецем з наступним гартуванням та низькою відпусткою. Виконання цементации з подальшим термічним обробленням одночасно призводять до підвищення межі витривалості [6]. Структура поверхневих шарів сталюого виробу після цементации представляє собою структуру заевтектоїдної сталі (перліт і вторинний цементит), тому для надання сталі кінцевих експлуатаційних властивостей після процесу цементации необхідно виконати режим термічної обробки (гартування і

низький відпуск). Температурно-часові параметри режиму термічної обробки вибираються в залежності від хімічного складу сталі, призначення і розмірів деталі.

Деталі, які надходять на цементацію після механічної обробки, мають припуск на шліфування (0,05-0,01 мм). У багатьох випадках цементації піддається частина деталі, ділянки які не підлягають цементації ізолюють тонким шаром міді(0,02-0,05 мм), яку наносять електролітичним способом або ізолюють спеціальними пастами до складу яких входить вогнетривка глина, пісок, азбест або окису алюмінію , тальку, замішані на рідкому склі.

При цементації дифузія вуглецю в сталь можлива в тому випадку, якщо вуглець знаходиться в атомарному стані, одержуваному дисоціацією газів, що містять вуглець (CO, CH₄). Цементацію виконують при високих температурах 1173-1223 К [6].

Цементація в твердому карбюризаторі – процес де насичувальним середовищем є деревне вугілля (дубове або березове) величиною 3,5 - 10 мм або кам'яновугільний напівкокс або торф'яний кокс до складу яких додані активатори: вуглекислий барій (BaCO₃) і кальцинована сода (Na₂CO₃)

У промисловості машинобудування використовують в основному карбюризатор, який складається з деревного вугілля, 20-35% BaCO₃ і близько 3,5% CaCO₃. Робочу суміш для цементації складають з 25-35% свіжого карбюризатора та 65-75% відпрацьованого. Відсотковий вміст BaCO₃ у такій суміші складається 5-7%, що забезпечує необхідну товщину шару та виключає утворення грубої цементитної сітки на поверхні металу.

Вироби після попереднього очищення підлягають цементації укладають у зварні сталеві муфелі, які мають прямокутну або циліндричну форму. При виборі форми ящиків прагнуть скоротити обсяг, що не використовується так, щоб забезпечувався рівномірний підігрів за мінімальний час. Деталі укладають так: на дно ящика насипають шар карбюризатора товщиною 30-40 мм, на нього поміщають деталі, потім знову насипають шар карбюризатора і

так далі до верху ящика. Останнім зверху має бути шар карбюризатора (між деталями та кришкою) товщиною 20-30 мм. Деталі повинні займати 10-15%, а карбюризатор - 85-90% обсягу муфелю. При укладанні деталей необхідно стежити, щоб вони не торкалися один одного та стінок муфелю. Кожен шар карбюризатора щоб уникнути осідання останнього і провисання деталей необхідно ущільнювати, струшуючи муфель. На верхній шар карбюризатора кладуть лист азбесту, закривають муфель кришкою та обмазують її сумішшю вогнетривкої глини з піском. Після природного сушіння муфеля ставлять у піч, нагріту до заданої температури.

Газову цементацію – здійснюють у муфельних шахтних електропечах. Як рідкі карбюризатори застосовують бензол, синтин, гас; як газоподібні - природний і попутний газ. У шахтні печі з вентиляторами рідкі карбюризатори подають у вигляді крапель або в пилоподібному стані через форсунки. Якість процесу цементації оцінюється за ефективною товщиною цементованого шару [6].

1.2.2 Азотування

Азотуванням називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом при нагріванні її в аміаку. Азотування дуже сильно підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, межу витривалості та опір корозії у таких середовищах як атмосфера, вода, пара та слабких лужних розчинах. Азотуванню піддаються різноманітні за складом і призначенням сталі – конструкційні та інструментальні, жароміцні і корозійностійкі, а також ряд тугоплавких матеріалів [5, 6]. Твердість азотованого шару значно вище, ніж у деталей з цементованим шаром, і вона зберігається при нагріванні до високих температур 773- 873 К [6].

Азотування проводять в атмосфері аміаку, який при нагріванні дисоціює. Атомарний азот, що утворився дифундує в залізо.

Твердість та товщина азотованого шару залежать від температури та тривалості азотування. Чим вище температура азотування, тим нижче твердість і більша товщина шару.

Від режиму азотування – температури процесу, часу витримки та ступеня дисоціації аміаку залежать властивості, структура та глибина азотованого шару. При азотуванні застосовують два режими: одноступінчастий – коли весь процес здійснюється при одній (постійній) температурі, і двоступінчастий – коли температура змінюється (підвищується) під час процесу. Ступінь дисоціації аміаку регулюється від 20-50% залежно від температури азотування. Чим вище температура тим більше ступінь дисоціації (при 773-793 К ступінь дисоціації 20-25%, а при температурі 773-843 К вона буде 40-50%). Одноступеневий режим характерний тривалою витримкою і вищою твердістю, але для прискорення процесу азотування застосовують переважно двоступінчастий режим.

Якщо головною вимогою до азотованого шару є висока твердість і зносостійкість, то застосовують сталь 38Х2МЮА. Одночасна присутність хрому, алюмінію та молібдену дозволяє підвищити твердість азотованого шару до HV 1200. Молібден також усуває крихкість відпуску, яка може виникнути при повільному охолодженні від температури азотування. Для підвищення корозійної стійкості можна азотувати вуглецеві сталі.

1.2.3 Ціанування

Ціануванням називають процес одночасного насичення поверхневих шарів сталей вуглецем і азотом. Розрізняють рідинне

ціанування(низькотемпературне та високотемпературне), ціанування в твердих сумішах і газове ціанування (нітроцементация) [5].

Низькотемпературне ціанування застосовують для середньовуглецевих, нержавіючих сталей та чавуну. Низькотемпературне ціанування проводять у ціаністих ваннах, що містять 40% KCNO і 60% NaCN при температурах 813 – 863 К і часом витримки 30-180 хв. За таких температур в сталь дифундує переважно азот. Загальна товщина азотованого шару після низькотемпературного азотування становить 0,15-0,5 мм [5, 6].

Товщина шару визначається вмістом у ванні KCNO. Найбільша товщина виходить при вмісті 40% KCNO і температурі 843 К. Товщина шару також залежить від марки сталі та часу витримки процесу.

Зі збільшенням у сталі вуглецю та легованих елементів, низькотемпературне азотування майже не підвищує твердості вуглецевих сталей (HV 300-350), твердість поверхневого шару легованих сталей становить HV 600-1100, але вона нижча за твердість одержуваної при звичайному азотуванні в таких же умовах. Низькотемпературне азотування підвищує протизадирочні властивості, межу витривалості та зносостійкості сталі, але найважливішою перевагою низькотемпературного азотування є незначна зміна геометричних розмірів деталі та відсутність деформації. Тому деталі, які піддаються низькотемпературному ціануванню, приходять на операцію остаточно оброблені.

Впровадження цього процесу у виробництво обмежило необхідність застосування дорогих і токсичних ціаністих солей, використовувати тиглі з дорогого матеріалу, необхідністю постійного контролю та періодичної зміни складу ванн.

Високотемпературне рідинне ціанування застосовують для підвищення твердості, зносостійкості деталей і проводять режими на температурі 1093 – 1143 К, одержуваний ціанований шар при цьому становить 0,15-0,35мм. Для отримання шару більшої величини(0,5-2,0мм)використовують більш

високу температуру 1203 – 1223 К [6]. Для високотемпературного ціанування використовують середньовідсоткові ціаністі ванни з NaCN , Na_2CO_3 і NaCl . При нагріванні ванн з ціаністим натрієм утворюються активні азот та вуглець, які азотують і науглерожують поверхневий шар сталі. Концентрація вуглецю та азоту в ціанованому шарі сталі залежить від температури, з підвищення температури концентрація вуглецю підвищується в поверхневому шарі, а азоту знижується. При високотемпературному ціануванні найбільш інтенсивне збільшення товщини шару та вміст у ньому вуглецю та азоту відбувається на початку процесу протягом першої години витримки. Враховуючи це, тривалість процесу високотемпературного ціанування зазвичай йде від 1,5 до 6 годин [6].

Процес ціанування в порівнянні з процесом цементації вимагає меншого часу для отримання товщини заданого шару, характеризується значно меншим викривленням і деформацією деталей складної форми та високим опором зношування та корозії.

Недоліком ціанування є його висока вартість, отруйність ціаністих солей та необхідність у зв'язку з цим вживання спеціальних заходів з охорони праці.

1.2.4 Борування та силіціювання

Борування – це хіміко-термічний процес обробки, який полягає у дифузійному насиченні поверхневих шарів деталі бором при високотемпературній витримці у відповідних середовищах.

Борування може здійснюватися в твердих, рідких або газоподібних середовищах [3, 4, 7]. Тверде борування або борування у порошкових середовищах здійснюють у герметично закритих контейнерах – боризаторах у

вакуумі або водневих сумішах.

Рідке безелектролізне борування використовують тільки у випадку обробки деталей складної конфігурації, а електролізне використовують для деталей простих форм різного призначення. В якості аноду при електролізному боруванні використовують графітові стержні.

Найбільш низькотемпературним процесом борування є борування в газоподібних середовищах, але ці середовища вибухонебезпечні і токсичні, що обмежує можливість використання цього способу.

Метою борування є надання оброблюваним деталям таких властивостей, як твердість, зносостійкість, кислото- та жаростійкість. Товщина боридних шарів залежить від режиму та часу насичення, хімічного складу сталей, що обробляються. Встановлено також, що швидкість борування знижується при підвищенні кількості вуглецю та легуючих елементів у сталях (внаслідок цього зменшується і товщина дифузійного шару) [7, 8].

Борований шар має високу твердість HV 1800 - 2000 (18000 – 20000 МПа), зносостійкість (головним чином, абразивну), корозійну стійкість, окалино-стійкість (до 1073 К) і теплостійкість. Борування застосовують для підвищення зносостійкості втулок грязьових нафтових насосів, дисків п'яти турбобура, витяжних, згинальних та формувальних штампів, деталей пресформ та машин для лиття під тиском. Стійкість зазначених деталей після борування зростає у 2-10 разів.

Загальні недоліки процесу борування поверхні полягає у викришуванні при експлуатаційних температурах вище 1073 К, продавлювання та відколювання боридних шарів високої твердості, що спираються на більш м'яку основу, труднощі при відновленні зношеної поверхні.

Силіціювання – процес насичення поверхневого шару деталі кремнієм для підвищення корозійностійкості деталі в різних агресивних середовищах при експлуатації. Силіціюванню піддають деталі із середньо та низьковуглецевої сталі, а також з високоміцного та ковкого чавуну. Існують

декілька способів покриття кремнієм: порошкоподібний, газовий та рідкий в ваннах як електролізним, так і безелектролізним методом. Температура насичення складає 1373 -1473 К, час витримки від 2 до 12 годин в залежності від шару, який потрібно набрати [6].

1.2.5 Дифузійна металізація

Дифузійна металізація – високотемпературне насичення поверхні сталі металами у відповідних насичуючих середовищах. Призначенням такого насичення є підвищення окалиностійкості, корозійностійкості, кислотостійкості, твердості та зносостійкості деталей. В результаті такого виду ХТО є зміна складу, структури і властивостей поверхневих шарів сталі шляхом введення в нього таких металів як хром, алюміній, цинк, вольфрам, ванадій, ніобій. Дифузійна металізація може проводитися в діапазоні температур від 1273 до 1373 К та тривала витримка для отримання необхідної товщини насиченого шару [4].

Цей вид ХТО може бути здійснений декількома способами, залежно від методу перенесення дифузійного елемента на насичувану поверхню розрізняють такі основні способи дифузійної металізації:

- занурення в розплавлений метал, якщо дифузний елемент має низьку температуру плавлення (наприклад, алюміній, цинк);
- насичення з розплавлених солей, що містять дифузний елемент (з електролізом та без електролізу);
- насичення із сублімованої фази шляхом випаровування дифундуючого елемента;
- насичення з газової фази (контактним та неконтактним методом), що складається з галогенних сполук дифузного елемента.

В результаті дифузійної металізації на поверхні сталі виникають шари високолегованих твердих розчинів, які створюють принципово нові фізико-хімічні властивості поверхневих захисних шарів виробу [6].

На структуру та властивості отриманих дифузійних шарів впливають склад насичуючого середовища, температура процесу і час насичення, вміст вуглецю і легуючих елементів у оброблюваній сталі [9].

Так, при насиченні нікелем або нікелем і міддю, що не взаємодіють з вуглецем, останній відтісняється вглиб, що призводить до утворення під шаром покриття, збагаченого вуглецем. Покриття являє собою твердий розчин нікелю у залізі або нікелю і міді у залізі [10, 11]. При отриманні нікель-хромових покриттів вуглець взаємодіє з хромом, утворюючи на поверхні покриття карбідного шару, тому склад і властивості нікель-хромових покриттів залежать від вмісту вуглецю в сталі.

Можливість насичення і концентрація легуючих елементів у покритті залежить від їх здатності до розчинності у дифузійному шарі чи утворення з його елементами хімічних сполук. Якщо ж легуючі елементи (для легованих сталей) не здатні взаємодіяти з покриттями, то вони відтісняються вглиб основного металу.

При одночасному насиченні двома або декількома елементами в дифузійному шарі можуть поєднуватися властивості, створювані окремо різними елементами з властивостями, отриманими в результаті поєднання дії цих елементів.

При багатокомпонентному дифузійному насиченні поверхневий шар характеризується якісно новою структурою. Він може мати більш високі фізико-хімічні властивості в порівнянні з шаром, отриманим після дифузійного насичення одним елементом [11, 12].

Особливу увагу варто приділити насиченню поверхні сталі вуглецем і азотом одночасно. Цей вид ХТО є одним з найважливіших методів поверхневого зміцнення в сучасному виробництві. Далі ми зосередимося саме

на цьому питанні.

1.3 Нітроцементация

Нітроцементацияю називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом при 1113 – 1133 К в газовому середовищі, що складається з науглерожуючого газу і аміаку. Нітроцементация (газове ціанування) стала основним методом ХТО у масовому виробництві. Цей вид ХТО має ряд переваг, що дозволяють використовувати його замість газової цементации [3, 13]:

- температура процесу (1113 – 1133 К) нижче ніж при обробці деталей цементацияю;
- скорочення тривалості процесу і підвищення продуктивності;
- менше сажоутворення;
- менші деформації деталей і можливість здійснювати безпосереднє гартування після нітроцементации внаслідок нижчої температури процесу;
- вища зносостійкість деталей внаслідок додаткового насичення сталі азотом ;
- менша енергоємність процесу;
- більший термін служби устаткування, зумовлений роботою за нижчої температури;
- рівномірна поверхнева твердість в порівнянні з цементацияю;
- більша глибина гартування;
- можливість утворення більш стійкого до зносу шару;
- менші витрати на обробку [14, 15].

1.3.1 Сутність процесу нітроцементатації

Широке застосування для газової нітроцементатації знайшли електричні шахтні муфельні печі серії Ц з вентиляторами. Для здійснення процесу нітроцементатації в робочий простір печі вводять газоподібний чи рідкий карбюризатор і аміак. На результат нітроцементатації впливає температура, тривалість витримки та співвідношення цементуючого газу та аміаку. З підвищенням температури збільшується величина шару та вміст вуглецю, а вміст азоту в поверхневому шарі зменшується. Газовим карбюризатором при нітроцементатації є суміш гасу, природного газу та аміаку. Щоб відбувалось насичення поверхні деталі, необхідно підводити до неї активні атоми вуглецю і азоту. Утворені активні атоми азоту і вуглецю адсорбуються в поверхню і дифундують в глиб деталі. Такі активні атоми можуть утворюватися при протіканні в газовому середовищі реакцій дисоціації метану, оксиду вуглецю і аміаку [15]:



При нітроцементатації необхідно регулювати рівень поверхневого насичення сталі азотом і вуглецем, що дозволяє отримати оптимальні механічні властивості.

Для здобуття високої якості нітроцементованого шару необхідно забезпечити стабільність пічної атмосфери. Так як при нітроцементатації основну частину пічної атмосфери становить гас, аміак та для регулювання

концентрації насичувальної атмосфери в печі додається повітря, контролювання проводиться за вуглецевим потенціалом [15, 16].

1.3.2 Одночасне насичення поверхні сталі вуглецем і азотом

При перепаді концентрацій атомів азоту і вуглецю на поверхні металу та у його поверхневих шарах проходить дифузійне насичення поверхневих шарів металу. Вуглець і азот, дифундуючи в аустеніт і ферит, утворюють твердий розчин заміщення (радіуси атомів вуглецю і азоту складають менше 0,59 від фактичного атомного радіуса заліза).

Процес одночасного насичення сталі вуглецем і азотом принципово відмінний від цементації і азотування в результаті іншого механізму насичення: зміною коефіцієнтів дифузії вуглецю і азоту в аустеніті; зміною енергії активації вуглецю і азоту в залізі; зміною швидкості насичення поверхневих шарів вуглецем і азотом [15, 17].

У процесі нітроцементації зменшення концентрації азоту при підвищенні концентрації вуглецю в шарі може бути пояснено тим, що при впровадженні атомів вуглецю і азоту вони віддають частину валентних електронів недобудованій оболонці металу і переходять в металічний стан, що і обумовлює дуже високу рухомість іонів вуглецю і азоту в ґратці заліза. По мірі збільшення кількості адсорбованих атомів домінуючого компоненту проходить все більше заповнення оболонки і відповідно зменшення можливості розчинення атомів другого компоненту.

При нітроцементації процес одночасного насичення поверхні деталі вуглецем і азотом має дві стадії [18]:

– насичення вуглецем і азотом (для низьковуглецевої сталі) або насичення азотом і зневуглецювання у випадку зменшення активності

насичуючого середовища за вуглецем (вуглецевого потенціалу);

- деазотування шару, перехід азоту в газову фазу.

Деазотування зумовлено тим, що вуглець підвищує термодинамічну активність азоту, витісняючи його з твердого розчину азоту і вуглецю в аустеніті.

При одночасній дифузії вуглецю та азоту в сталь швидкість дифузії вуглецю в сталь збільшується [17, 18] так само, як зростає швидкість дифузії лише вуглецю зі збільшенням його концентрації в аустеніті. Вміст вуглецю в нітроцементованому шарі становить 1 %, а азоту – близько 0,3 %. Тому вуглець дифундує при нітроцементзації під вищим градієнті, ніж азот, а швидкість дифузії вуглецю вища, ніж швидкість дифузії азоту [15].

1.3.3 Температура процесу

На структуру та товщину нітроцементованого шару, а отже і на його властивості впливають такі параметри процесу, як температура та час насичення і склад насичувального середовища (співвідношення потенціалів вуглецю і азоту, що змінюється з часом). Однак найважливішим і вирішальним з них є температура процесу.

Відповідно роботі нітроцементацию поділяють високотемпературну і низькотемпературну. Високотемпературна нітроцементация виконується вище критичної точки A_{c3} , а низькотемпературна нітроцементация нижче точки A_{c1} . При відносно низьких температурах обробки поверхня сталі насичується переважно азотом, а при більш високих – вуглецем. Однак використовують також і середньо температурну нітроцементацию в температурному діапазоні між A_{c1} та A_{c3} [17].

Розглядаючи окремо процеси насичення сталі вуглецем і азотом можна

зробити висновок, що з підвищенням температури розчинність вуглецю в аустеніті зростає, а швидкість проникнення вуглецю в глибину шару збільшується за рахунок утворення цементиту, що містить 6,67% вуглецю який є стійким до температури плавлення.

При постійному парціальному тиску не дисоційованого аміаку і водню в газовій атмосфері швидкість перенесення азоту до поверхні з підвищенням температури перевищує швидкість дифузії азоту в шар, зменшуючи таким чином ступінь насичення азотом. На поверхневе насичення азотом також впливає той факт, що нітриди і азотовмісні аустеніти нестабільні при температурах вище 973 К [18].

Характер спільного насичення сталі вуглецем і азотом значною мірою визначається характером насичення поверхневих шарів сталі цими елементами за їхньої роздільної дифузії. Температура процесу — одне із найважливіших факторів, поруч із складом пічної атмосфери. Найбільш поширеними температурами є 1103-1123 К. Вплив температури і витримки на глибину шару було визначено, що швидкість утворення шару досягається при температурах 1103 К. При температурі процесу вище 1173 К спостерігається перегрів шару серцевини.

Температура дуже впливає на структуру шару, у разі підвищення температури супроводжується зміною структури як шару, так і серцевини. При температурі процесу вище A_{c3} при оброблюваній сталі серцевина деталей залежно від їх перерізу та швидкості охолодження набуває трооститної або сорбітової структури. При неповному гартуванні в структурі серцевини є феритні ділянки. У перехідній зоні утворюється троосто-мартенситна структура. Залежно від складу, структури та глибини шару від температури та тривалості процесу визначає характер зміни міцності, пластичності, зносостійкості та фізико-хімічних властивостей деталей. Так, наприклад, спостерігається підвищення межі витривалості зі зростанням температури обробки внаслідок поширення залишкових стискаючих напружень на велику

глибину шару.

Зміна температури значно впливає на твердість шару, підтверджено усією практикою ХТО, що процес слід проводити при температурі насичення 1123-1133 К, який забезпечує оптимальну структуру (мартенсит та залишковий аустеніт) та властивості сталі. Вміст залишкового аустеніту в дифузійній зоні залежить від складу газової атмосфери, температури насичення та гартування. Зниження температури насичення призводить до зниження концентрації вуглецю в шарі, перенасичення поверхневої зони вуглецем, різкого переходу від насиченого шару серцевини і крихкому шару; підвищення температури процесу призводить до зростання концентрації вуглецю, зниження вмісту азоту в шарі і, отже, до падіння статичної динамічної міцності та зносостійкості деталей.

1.3.4 Основні фази в системі Fe-C-N

Метою нітроцементатії є покращення таких властивостей сталі як твердість, зносостійкість [18], жароміцність та міцність при постійному контакті. Ці властивості залежать від структури поверхневого шару, а саме від розподілу вуглецю та азоту в глибину; співвідношення кількості азоту та вуглецю, та фазового складу поверхневого шару.

Для розгляду фаз, які можуть утворюватись в системі Fe-N-C, розглянемо діаграму Fe-N-C. В [19] наведено діаграми ізотермічного перерізу при температурах 773 та 973 К (рис.1.1, 1.2). За допомогою них розглянемо основні фази, які формуються в системі Fe-N-C при різному співвідношенні N та C.

В інтервалі температур 773-973 К утворюються карбонітриди, ізоструктурні нітридам системи Fe-N, а при температурі нітроцементатії

973-1173 К структура шару та його особливості подібні до цементованого шару [5].

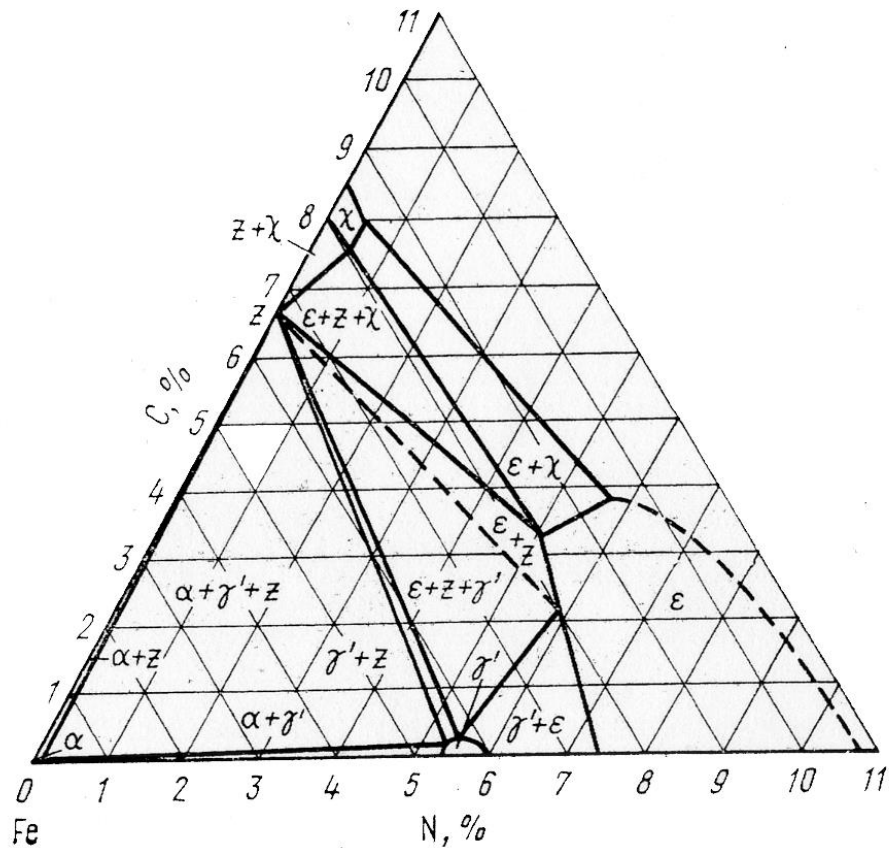


Рисунок 1.1 – Ізотермічний переріз діаграми системи Fe-N-C при 773 К [19]

Для розуміння фаз які позначенні на рисунках спочатку розглянемо основні нітриди заліза – γ' , ϵ і ξ , які утворюються при насиченні заліза азотом (відповідно діаграми Fe-N) [18, 20].

В γ' -нітриди (Fe_4N) атоми заліза утворюють гранецентровану кубічну гратку, тоді як атоми азоту будуть займати $1/4$ октаедричних порожнин між вузлами гратки. γ' -нітриди присутні в діапазоні температур A_1 , з масою азоту від 5,3 до 5,75%, і стабільні лише до температури 943 К (при цій температурі вони перетворюються на нітриди, які також стабільні нижче 943 К, але мають більший вміст азоту).

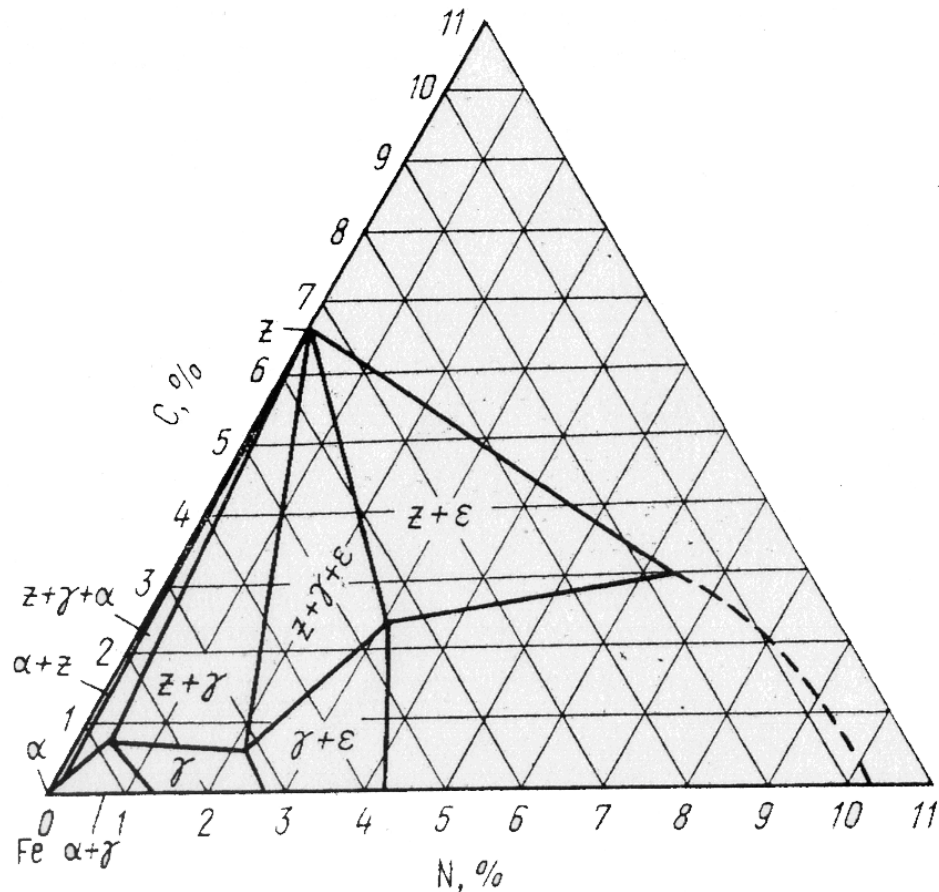


Рисунок 1.2 – Ізотермічний переріз діаграми системи Fe-N-C при 973 К [19]

Атоми заліза в нітридах займають вузли гексагональної ґратки, а азот – проміжки між вузлами. Вміст азоту в нітридах коливається від 4,35 до 11% за масою. З підвищенням температури розчинність вуглецю в ϵ -фазі зменшується від 4,1% при температурі 773 К до 3,0% при 973 К [19]. Орторомбічні нітриди ξ існують у вузькому діапазоні вмісту азоту від 11,07 до 11,18% за масою. ξ -нітриди стабільні до температури 723 К і розкладаються при вищих температурах в атмосфері аміаку. Діаграми Fe-N і Fe-C показують, що в діапазоні температур нітроцементатії розчинність вуглецю в γ -залізі зростає з 0,3 % до 2,14 % при збільшенні температури від 996 К до 1413 К, тоді як розчинність азоту зменшується з 2,75 % при 923 К до 2,5% при 1023 К.

Розчинність азоту в аустеніті в діапазоні температури нітроцементатії вища, ніж вуглецю. Однак, згідно практики азотування вище температури 973 К показує, що концентрація в шарі азоту рідше складає 0,7-0,8% за масою,

оскільки аустеніт і ϵ -фаза, що містять азот стають нестабільними при високих температурах. У системі Fe-N-C утворюються карбонітриди, однакові нітридам, через заміщення атомів азоту вуглецем у кристалічній гратці нітриду. При температурі нітроцементатації гексоганальний карбонітрид більш стійкий ніж інші карбіди. Склад карбонітриду змінюється в границях $\text{Fe}_2(\text{NC})$ до $\text{Fe}_3(\text{NC})$ містить до 39% азоту. Максимальне атомне відношення вуглецю до азоту в карбонітриді ϵ становить 1,2-1,25.

Орторомбичний карбонітрид ξ , ізоморфний з нітридом $\xi\text{-Fe}_2\text{N}$, розчиняє більшу кількість вуглецю. Карбонітрид γ' розчиняє обмежену кількість вуглецю в діапазоні температур 773-973 К [19] і при насиченні його вуглецем переходить в гексаганальний карбонітрид ϵ . Про обмежену розчинність вуглецю в кристалічній гратці свідчить також незначні зміни параметрів кристалічної ґратки [20]. В ізотермічному перерізі потрійної діаграми стану Fe-N-C (773 К) також показаний χ -карбід (Fe_7C_3 або Fe_{20}C_9). При температурі 773 К розчинення азоту в χ -карбіді буде складати 0,5% за масою [19].

Нітроцементатація при 1073-1133 К призводить до утворення на поверхні карбонітриду з ґраткою цементиту $z(\text{Fe}_3\text{C})$, що дозволяє азоту розчинятися не тільки на границях зерен, але і в центрі комірки, при цьому атоми вуглецю отримують можливість зайняти вільний простір на границях зерен.

При температурі 838 К відбувається перетворення за формулою 1.4:



а за температури 848 К:



Тепер розглянемо які зміни відбуваються в системі Fe-C під дією вуглецю [20]:

– з одночасною дифузією азоту і вуглецю в поверхневій шарі сталі температура рекристалізації аустеніту знижується. Границя зони аустеніту при цій температурі зміщується в бік меншого вмісту вуглецю, ступінь якого збільшується зі зміщенням лінії A_{c3} на діаграмі Fe-C.

– вуглець і азот підвищують температуру перекристалізації високотемпературної кубічної об'ємноцентрованої модифікації δ -фериту.

У зв'язку з вище переліченими явищами при нітроцементзації, можна сказати що при температурі, нижчій від A_3 , утворюється шар в якому проходять поступові зміни в структурі у напрямку від поверхні до серцевини.

1.3.5 Структура та властивості поверхневих шарів сталей після нітроцементзації, проведеної за різними режимами

Структура поверхневого нітроцементованого шару дуже впливає на характеристики міцності і зносостійкість сталі. Слід зазначити, що збільшення ступеня насичення шару азотом при підвищеній концентрації вуглецю призводить до зменшення кількості трооститної складової. Це зумовлено тим, що азот легуючи твердий розчин вуглецю в залозі, знижує критичну швидкість гартування, збільшує прожарювання і таким чином компенсує негативний вплив зниженої концентрації вуглецю. При концентрації азоту у шарі 0,49% азоту кількість трооститу у ньому значно менше, а твердість приблизно 12% вище [18].

Границя витривалості безпосередньо залежить від товщини нітроцементованого шару, чим вищий шар, тим вища границя витривалості сталі.

Після нітроцементзації з безпосереднім гартуванням сталь має дрібніше зерно, ніж після цементзації, що зменшує схильність до крихкого руйнування і

підвищує також межу витривалості. Нітроцементований шар має гарну зносо- і корозійну стійкість. При нітроцементациї значно підвищується прогартованість і гартування дифузійного шару за рахунок легування аустеніту азотом. Застосування ступінчастого гартування зменшує короблення і дозволяє зменшити припуск на шліфування.

Підвищена міцність пов'язана із впливом азоту на властивості сталі. Вплив азоту чим ефективніший, ніж нижча температура нітроцементациї. Після повільного охолодження мікроструктура нітроцементованого шару відрізняється наявністю окремих включень карбонітритридів або тонкої поверхневої скоринки. Оптимальною структурою після гартування та низького відпуску є структура дрібно або середньоголчастого мартенситу з тією чи іншою кількістю залишкового аустеніту 20 – 40%.

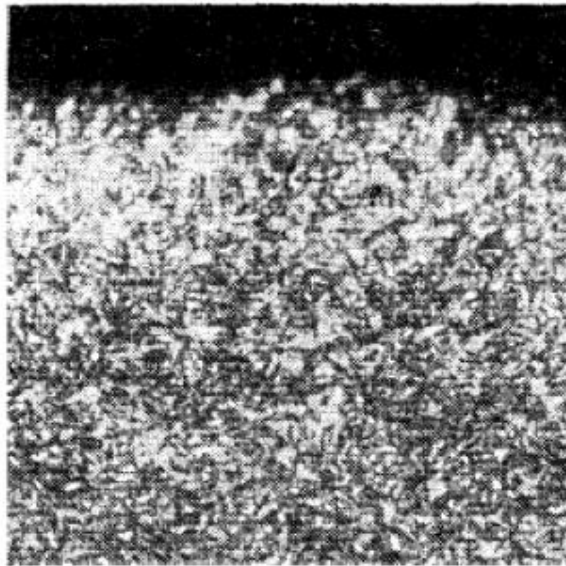


Рисунок 1.3 – Мікроструктура нітроцементованого шару сталі після гартування та низького відпуску [5]

Підвищений вміст залишкового аустеніту призводить до зниження контактної та втомної міцності. На кількість залишкового аустеніту впливає температура нітроцементациї, хімічний склад сталі та сумарний вміст азоту та вуглецю. Азот, присутній у шарі, значно підвищує кількість залишкового

аустеніту у вуглецевих сталях. Зниження вмісту вуглецю призводить до утворення структури низьковуглецевого мартенситу з трооститом. Збільшення вмісту вуглецю зростає кількість аустеніту і з'являється карбонітридна фаза, що знижує стійкість аустеніту у зв'язку з переходом азоту та вуглецю в карбонітриді. При цьому на поверхні з'являється трооститна сітка. Присутність карбонітриду в шарі знижується також опір ударним навантаженням в результаті крихкості шару. При вмісті азоту в шарі менше 0,1% внаслідок внутрішнього окиснення відбувається збіднення твердого розчину легуючими елементами та з'являються продукти немартенситного перетворення аустеніту.

На механічні властивості нітроцементованого шару впливає процес деазотування. Азот, що знаходиться в сталі в твердому розчині або у вигляді нітридів, при нагріванні має здатність випаровуватися. При нітроцементатії у період процесу відбувається одночасне насичення вуглецем і азотом. У другому періоді насичення азотом припиняється, і навіть за постійного складу газового середовища концентрація азоту лежить на поверхні дифузійного шару знижується. Деазотування збільшується з підвищенням температури та тривалості витримки. При охолодженні на повітрі та повторних нагріваннях під гартування деазотування досягає 90%. Тому високі механічні властивості сталі можуть бути отримані тільки при безпосередньому гартуванні після нітроцементатії.

Структура нітроцементованого шару залежить від температури та тривалості процесу може змінюватись у широких діапазонах. При температурах 973 К у структурі спостерігаються дві зони, що різко розрізняються. Перша поверхнева зона складається переважно з суміші ϵ -карбонітридів з деякою кількістю цементиту, в якому частина атома вуглецю заміщена атомами азоту. У другій зоні міститься продукти розпаду азотистого аустеніту. З підвищенням температури до 1073 – 1103 К товщина першої зони зменшується, а загальна товщина шару різко збільшується. При 1123 К перша

зона, що містить суміш карбонітридів, майже повністю відсутня і структура в основному складається з темних голок мартенситу відпустку, що розташовуються на світлому тлі залишкового аустеніту.

Після розгляду наведеної вище роботи можна зробити висновок, що фазовий склад і властивості одержуваного нітроцементованого шару залежить не тільки від температури, тривалості процесу, складу насиченої атмосфери, але і від подальшої обробки деталі і складу сталі. При відносно низькій температурі нітроцементзації 773 – 973 К в основному утворюються карбіди, які ізоморфні нітридам системи Fe-N, а при температурі 973 – 1173 К структура шару визначається відповідно до фазової діаграми Fe-C, основні типи карбідів.

(Fe₃C, Fe₇C₃) розчиняють азот та перетворюються в карбонітриди Fe₃(CN) і Fe₇(CN)₃. Поверхневий шар може містити ферит, перліт, залишковий аустеніт та мартенсит з розчиненим у гратці азотом, в залежності від кількості та співвідношення вуглецю і азоту та типу обробки після нітроцементзації, а кількість залишкового аустеніту залежить від вмісту розчиненого азоту.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Виготовлення і хіміко-термічна обробка зразків

Вихідним матеріалом, з якого був виготовлений зразок для дослідження, був циліндричний пруток зі сталі 20 довжиною 10 см і діаметром 10 мм. За допомогою плоско-паралельних верстатів були сформовані 2 паралельні основи для зручності дослідження поверхневого шару. Після нітроцементзації пруток розрізали на частини, а після шліфування та полірування отримали зразок, який можна використовувати для дослідження.

Нітроцементация проводилась у шахтній печі „Ц-60”. Безпосередньо перед нітроцементациєю зразки обробляємо так, щоб їхня поверхня була підготовлена для дифузії вуглецю та азоту або навпаки захищаємо в місцях, що не підлягають насиченню. Зразки повинні мати чисту знежирену поверхню, ретельно очищену від бруду, жиру, окалини, оскільки забруднення різними оліями, у тому числі пригорілими, впливають на якість поверхні майбутньої деталі [17].

Перша необхідна умова для нормального перебігу процесу газової нітроцементзації – герметичність робочого простору печі. Вона залежить від стану муфеля, кришки та ущільнення між ними, а також ущільнення у сальнику валу вентилятора. В умовах виробництва неможливо безперервно вести спостереження за станом муфеля, так як при цьому його необхідно вилучати з печі, тому муфель зазвичай перевіряємо лише після того, як неполадки в ньому призводять до погіршення якості нітроцементованого шару або один раз на тиждень. Стан ущільнень між кришкою та муфелем, а також у сальнику валу вентилятора перевіряємо щоразу перед початком нітроцементзації. Особливо ретельно потрібно перевіряти стан затвора у кришці шахтної печі, оскільки від цього залежить безпека роботи. За наявності гарної витяжної вентиляції можна використовувати пісочний затвор. Пісок

має бути дрібним і ретельно просіяним.

Перевіряємо герметичність робочого простору печі за допомогою факела. У місцях, де порушена герметичність, газ, що виходить назовні, спалахує від піднесеного полум'я. При такій перевірці виявляються ті місця, через які газ виходить назовні, але не виявляються нещільності, через які може відбуватися підсмоктування повітря всередину муфеля. Особливо часто підсмоктування повітря відбувається через сальники валу вентилятора, тому робимо регулярний огляд всіх ущільнень перед початком роботи.

Перед початком кожного процесу перевіряємо придатність трубок, що подають газ. Протягом усього часу подачі газу трубка повинна охолоджуватися. Тривалість розігріву шахтної печі з моменту включення до досягнення робочої температури в залежності від її розмірів становить 5-7 годин. Автоматичне регулювання, контроль та реєстрацію температури печі проводимо за допомогою електронного самописного потенціометра. Крім того, температуру печі перевіряємо контрольним гальванометром та термопарою один раз на добу.

Прутки уклалися простору у кошик, виконаний у вигляді сітки з дроту для того, щоб не перешкоджати циркуляції атмосфери, в якій проводилось дифузійне насичення. Кошик з прутками був розмішений на одному з ярусів пристосувань, яка потім буде загрузатись в муфель печі. Після вказаних операцій зразки були готові до проведення ХТО.

Завантаження зразків у піч виконуємо після досягнення робочої температури 1123 К у всіх зонах шахтної печі. Після того, як у піч завантажимо холодні зразки, температура в ній знизиться в залежності від розмірів печі та садки на 373 – 473 К. Але вже при такій температурі і тим більше при її підвищенні може відбуватися окислення та зневуглецювання поверхні зразків [17]. Тому для як найшвидшого витіснення повітря з робочого простору печі відразу ж після того, як буде закрита кришка, включаємо нагрівачі, вентилятор і починаємо подавати карбюратор. Через деякий час

підпалюємо гази, що відходять через газовідвідну трубку і ще раз перевіряємо за допомогою факела герметичність затвора, сальника вентилятора та інших місць, де можливі витіки газів. У ході процесу нітроцементзації повинен горіти факел згоряючих газів, за кольором та висотою якого оцінюють правильність процесу. У такій оцінці є певна умовність, оскільки колір факела залежить від швидкості подачі карбюратора, наявності у ньому домішок. При нормальному ході нітроцементзації полум'я має бути жовтого або світло-жовтого кольору довжиною 10-20 см. Кіптяве полум'я смолоскипа свідчить про порушення нормального ходу процесу, що може бути пов'язане з надмірною подачею карбюратора або поганою циркуляцією газу в печі.

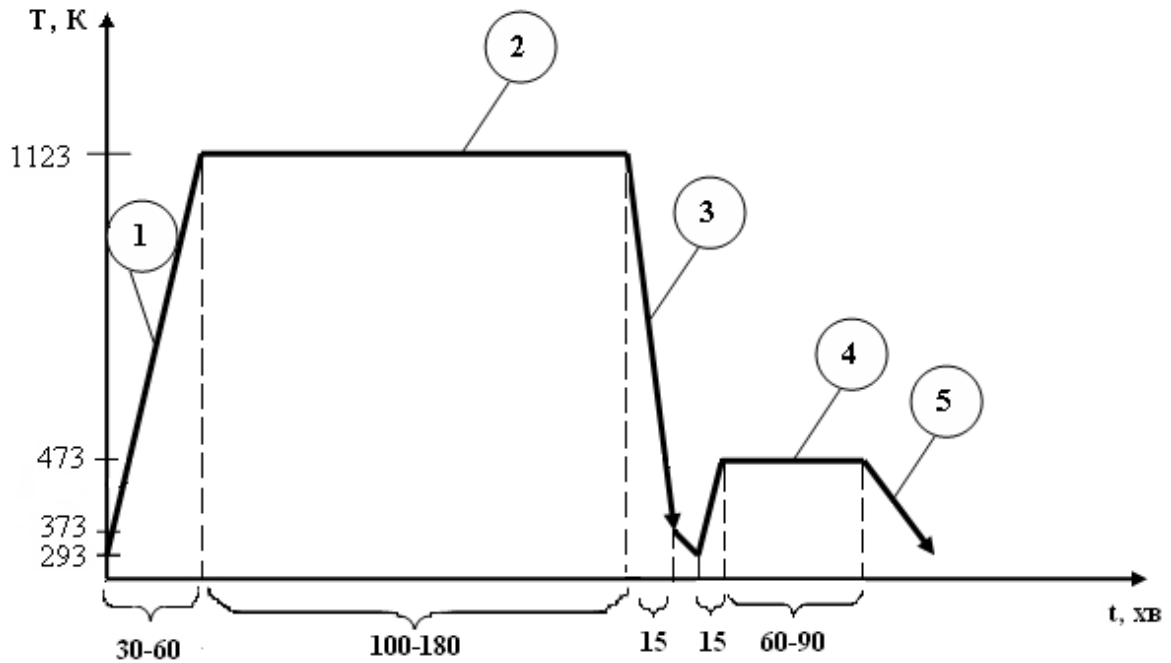
Нітроцементзація проходила при температурі 1123 ± 10 К [4, 18]. Для контролю процесу нітроцементзації (глибини насичуючого шару) використовують зразки – свідки, які виготовляють з тієї ж марки, що і оброблений зразок. Зразки – свідки зв'язують і підвішують у верхній частині печі, через спеціальний отвір в кришці, який герметично закривають. Перший зразок дістають за 30-40 хвилин до закінчення процесу, а другий – через деякий час дивлячись на результати першого. Якість деталей, що проходили ХТО, визначаються товщиною шару, твердістю поверхні та серцевини, а також мікроструктури відповідно до ДСТУ 9074: 2021.

Нагрівання до температури 1123 ± 10 К проходило в насичуючому середовищі впродовж $30 \div 60$ хвилин. Потім при незмінній температурі відбувався процес активного насичення вуглецем і азотом впродовж $100 \div 180$ хвилин, а впродовж останньої третини часу процесу активного насичення у піч подавався ще й аміак.

Надходження газів у піч контролюється таким чином, щоб вміст вуглекислого газу CO_2 в атмосфері печі становив 0,3-0,4% (таким чином регулювався вуглецевий потенціал атмосфери). Основними хімічними реакціями, що призводить до утворення атомарного вуглецю та азоту, були реакції розкладання метану CH_4 , оксиду вуглецю CO та аміаку NH_3 . Після

отримання бажаної товщини насиченого шару(контроль товщини здійснюється за допомогою зразків – свідків)закінчують процес нітроцементації.

При закінченні встановленого технологічним процесом часу спочатку припиняємо подачу гасу, повністю відкриваємо клапан на газовідвідній трубці і робимо невелику витримку (5-10 хвилин), поки не згасне факел газів, що відходять. Вимикаємо вентилятор, плавно піднімаємо та відводимо убік кришку шахтної печі та вивантажуємо деталі. Кришку печі відкриваємо лише після того, як згасне факел газів, що відходять. Передчасне піднесення кришки може призвести до вихлопу та викиду полум'я внаслідок загоряння газів, що залишилися. Після отримання бажаної товщини насиченого шару відкривають реторту і зразки переносять з камери нагріву в масляний бак і витримують в маслі протягом 15 хвилин, з постійним коливанням пристосування. Таким чином, після охолодження зразків до температури 373 К , після вони були промиті, перевірені на якість та піддалися операції відпуск. Відпуск полягає в нагріванні до температури 453 – 473 К протягом 15 хвилин, та витримці при цій температурі протягом 60 – 90 хвилин і охолодженні на повітрі. На рисунку 2.1 схематично показаний процес нітроцементації



1 – Нагрівання зразків в насичувальній атмосфері від 293 до 1123 К протягом 30 – 60 хвилин; 2 – активне насичення в атмосфері насичувального газу та аміаку при температурі 1123 К впродовж 100 – 180 хвилин; 3 – гартування в маслі протягом 15 хв від 1123 до 373 К; 4 – відпуск (нагрівання від температури 293 до 473 К протягом 15 хв, з витримкою 60 – 90 хв при температурі 473 К); 5 – охолодження на повітрі.

Рисунок 2.1 – Нітроцементация зразків сталі 20

2.2 Металографічний аналіз

Металографія дослідження – це комплекс випробувань і аналітичних заходів, спрямований на вивчення макроструктури і мікроструктури металів [19].

Для вивчення структури металів використовують метод металографічного аналізу: мікроаналіз і макроаналіз. Під час виконання

макроаналізу поверхню шліфа видно неозброєним оком. Мікроаналіз – полягає у вивченні структури зразка за допомогою мікроскопа. Завдяки мікроаналізу можна вивчити форму, розмір зерен, кількісне співвідношення фаз, вміст неметалевих включень, пор в зразку [21, 22].

Зразки зазвичай мають циліндричну або прямокутну форму. Місце, в якому зразок вирізається з досліджуваного об'єкта визначається поставленою задачею дослідження. Зразки неправильного або невеликого розміру, які незручно обробляти вручну заливають епоксидною смолою або поміщають між двома пластинами нержавіючої сталі і фіксуються гвинтами [23].

Після вирізання зразків проводиться обробка поверхні шліфуванням та поліруванням. Ці операції проводяться з використанням абразивних матеріалів таких як алмаз, алмазна паста, корунд та наждак. Залежно від розміру частинок абразиву знімається певна товщина поверхневого шару металу. Таким чином, в процесі обробки розмір зерна поступово зменшується.

Полірування та шліфування виконують з використанням абразивних інструментів(зазвичай з використанням шліфувального круга). На металевий круг наносять шліфувальний папір. Шліфування проводиться шляхом поступової заміни шліфувального паперу при поступовому зменшенні розміру зерна, і при кожній заміні паперу зразок повертають на 90° , щоб стерти залишки рисок після попередньої обробки.

Полірування можна виконувати на тому ж верстаті, що і шліфування, але круг покривають м'якою тканиною змоченою полірувальною рідиною (сумішшю абразиву і води). Під час полірування ,якщо переходимо на обробку алмазною пастою з меншим розміром зерна, шліф також повертається на 90° .

Приготовлені шліфи піддають хімічному травленню реактивами. Реактивами для травлення можуть бути спиртові чи водні розчини кислот. Для визначення мікроструктури використовують 3 % розчин азотної кислоти на основі спирту [23]. Зразок замочують в ванні з травником або зволожують травником поверхню шліфа. Час травлення шліфів підбирається

експериментально, після чого їх промивають в воді і сушать [23].

Виконавши всі операції зразок готовий до виконання дослідження мікроструктури та вимірювання товщини отриманого шару за допомогою мікроскопу на поперечних шліфах [23].

Підготовлені шліфи досліджують за допомогою мікроскопу МИМ-8 та фотографують цифровою фотокамерою «Olympus».

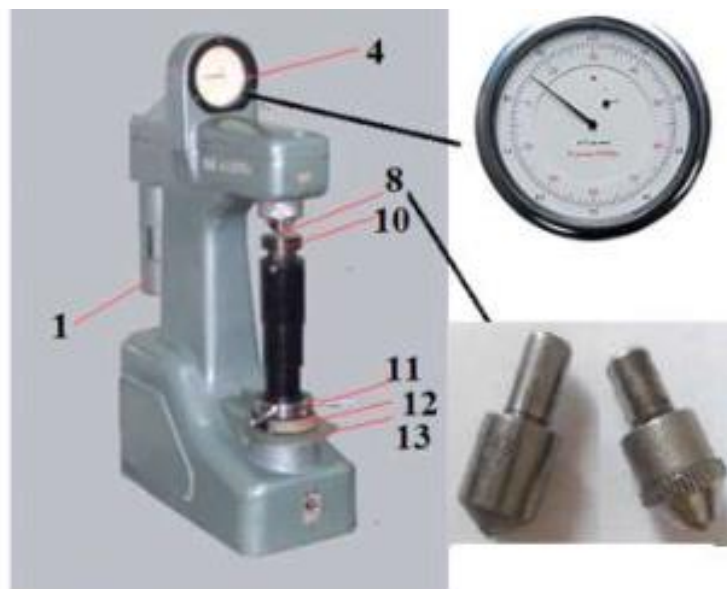
2.3 Дюрометричний аналіз

Вимірювання твердості (дюрометрія) – один з найпростіших та найдоступніших методів визначення твердості мікроскопічних об'ємів матеріалу: відмінності в твердості окремих фазових або структурних компонентів сплаву, а також окремих ділянок цих компонентів. Тому прикладене навантаження обирається невеликим. Крім того, мікротвердість вимірюють для дуже малих за розмірами деталей та тонкого поверхневого шару [23].

Значний вплив на результати випробувань мікротвердості створює стан поверхні досліджуваного матеріалу. Якщо поверхня нерівна, то окремі її ділянки різною мірою приймають участь в опорі вдавлюванню і деформації, що призводить до помилок у вимірюванні. Чим менше навантаження для вдавлювання, тим більш ретельно повинна бути підготовлена поверхня. Поверхня зразка для вимірювання мікротвердості має бути не лише шліфованою, а й полірованою. Поверхня, що досліджується, повинна бути встановлена горизонтально, тобто перпендикулярно дії індентора. Протилежна сторона зразка також повинна бути зачищеною і не мати окалини, оскільки остання при навантаженні зразка може спотворювати результати вимірювання.

Мікротвердість вимірюється за допомогою приладу ТК по методиці Роквелла визначається висота заглиблення індентора при навантаженні (60 кг алмазним конусом з кутом при вершині $\alpha = 120^\circ$) в зразок, що реєструється на шкалі індикатора.

Зразок кладуть на плоский столик приладу потім підводять за допомогою гвинта і гайки – маховика, до контакту з індентором до упору. Значення твердості матеріалу можна побачити на індикаторному пристрої 4. На його циферблаті нанесено дві шкали: червона В і чорна С, що мають по 100 поділок кожна. Шкала В зміщена відносно шкали С на 30 поділок в напрямку, протилежному руху стрілки індикатора при вдавлюванні індентора. При обертанні барабана 12 за рахунок шнура 23 можна виставити на «0» шкалу приладу (навпроти великої стрілки). Шнур натягують за допомогою ролика 22, натискаємо стартову клавішу 13, після чого виконується замір твердості.



- 1 – тягарі; 2 – підвіска; 3 – важіль; 4 – індикаторний пристрій; 8 – індентор;
 10– предметний столик; 11 – гайка-маховик для піднімання столика;
 12 – барабан для повороту шкали; 13 – стартова клавіша [23].

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд твердоміра ТК-2

Після припинення дії навантаження відкручують гайку – маховик11 проти часової стрілки та опускають столик .

Показання шкали приладу характеризує величину твердості, яку також можна розрахувати за формулами:

$$\text{HRA, HRC} = 100 - \frac{h-h_0}{k} \quad (2.1)$$

де h – загальне заглиблення індентора;

h_0 – попереднє заглиблення індентора;

k – ціна поділки шкали індикатора (0,002 мм на твердомірах типу Роквелл) [23].

3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Структура та хімічний склад сталі 20 у вихідному стані

Хімічний склад вихідного зразка із сталі 20 згідно масовій частки складає: С – 0,22%, Мп – 0,55%, Si – 0,21%, S – 0,035%.

Металографічним аналізом було встановлено, що вихідний відпалений зразок мав феритно-перлітну структуру (рис. 3.1). Мікротвердість поверхневого шару зразка становить близько 22 НРС.

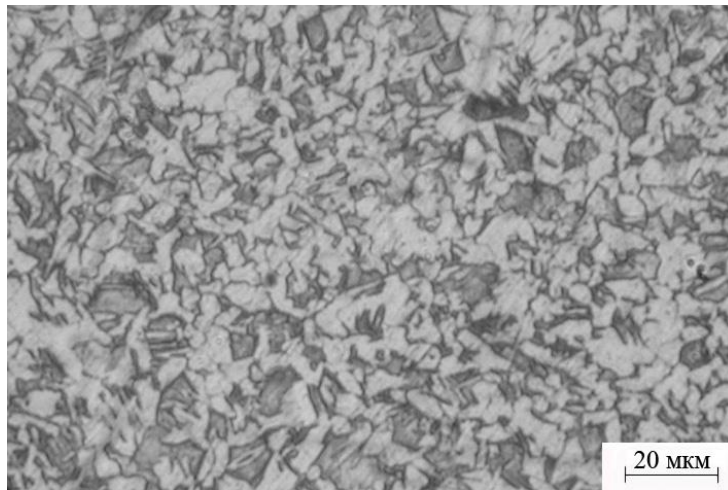
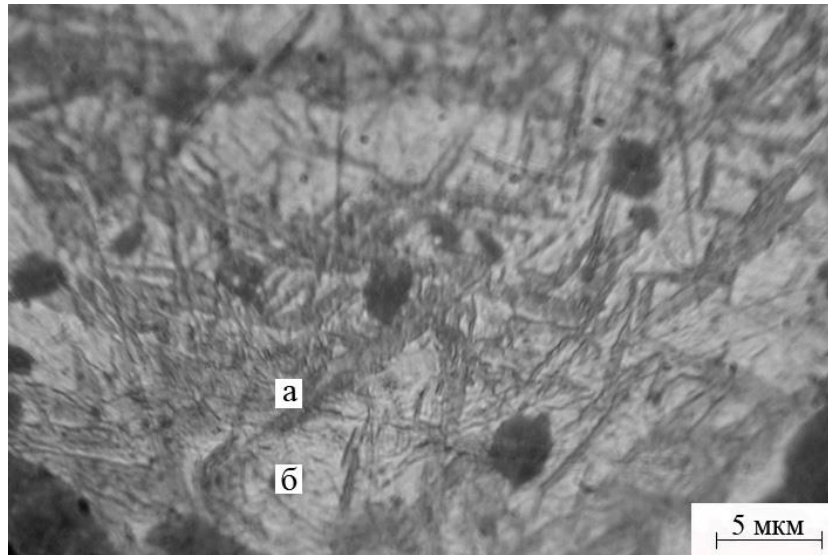


Рисунок 3.1 – Структура відпаленого вихідного зразка

3.2 Структурно-фазовий стан та властивості поверхневих шарів зразків після нітроцементації

Після виконання нітроцементації зразків при температурі 1123 К, гартування в маслі і низькотемпературного відпуску при температурі 473 К, були виявлені зміни структури і властивостей поверхневого шару. Це пов'язано із зміною хімічного складу, та особливостями обробки. Загальний

вид нітроцементованого шару бачимо на рисунку 3.2.



а – пластинчатий мартенсит; б – залишковий аустеніт

Рисунок 3.2 – Структура поверхневого шару зразка після обробки

Металографічним методом також було встановлено, що поверхневий шар являє собою суміш двох фаз: пластинчастого (голчастого) мартенситу і залишкового аустеніту [24].

Для визначення яка кількість залишкового аустеніту міститься на відстані від поверхні 15, 35 та 50 мкм був проведений кількісний аналіз. Результати показали, що після обробки в зразку в поверхневому шарі глибиною до 50 мкм міститься 9 – 11 % залишкового аустеніту ОЦК гратки.

Вуглець та азот, дифундуючи в γ -залізо, утворюють твердий розчин впровадження. Залишкові аустеніти, тобто аустеніти, які не зазнали перетворення в результаті ХТО, містить в твердому розчині стільки ж розчинних компонентів, скільки їх було в вихідному аустеніті при температурі активного насичення 1123 К.

Аналіз підтвердив наявність у вихідному стані при активній температурі насичення (1123 К) тільки однієї фази – аустеніту, що являє собою твердий

розчин вуглецю та азоту в γ -залізі.

Виходячи з наведених у роботі [20] графіків залежності де параметри гратки вуглецю та азоту залежать від концентрації вуглецю та азоту відповідно, можемо зробити висновок, що внаслідок невеликої різниці в розмірах атомів вуглецю та азоту, майже однаково впливають на зміну параметру гратки аустеніту.

Отже, можна припустити, що поверхневий шар зразка (глибиною до 50мкм) в цілому після обробки містить однакову кількість вуглецю і азоту (1,4-1,5%).

Теоретично визначене деяке збільшення концентрації вуглецю та азоту в поверхневому шарі товщиною 50 мкм (1,4-1,5%) порівняно із середніми результатами аналізу шарів глибиною до 150 мкм (1,3%), що може бути результатом нерівномірного розподілу вуглецю та азоту по глибині (зменшення концентрації вуглецю та азоту в напрямку від поверхні до серцевини).

Утворення мартенситу при гартуванні відбувається за мартенситним механізмом внаслідок насичення вуглецем та азотом, що призводить до підвищення мартенситної точки [25]. Отриманий мартенсит містить в своєму складі стільки ж вуглецю, скільки розчиняє аустеніт, що призводить до крихкості поверхні внаслідок виникнення великих напружень в кристалічній ОЦК гратці. Тому зразку у подальшому для зразки піддавалися низькотемпературному відпуску.

Отже, можемо зробити висновок, що при відпуску зразків після гартування внаслідок розпаду мартенситу не відбулося виділення сполук заліза, що містять вуглець і азот (карбонітридів), або їх кількість незначна.

Карбонітриди можуть бути виділені в невеликій кількості у вигляді дисперсних частинок всередині мартенситу.

Отже, виходячи з результатів металографічного та дюрOMETричного аналізу можемо сказати, що завдяки значному вмісту вуглецю та азоту (>

0,6%) у мартенситі, що утворився в поверхневому шарі нітроцементованого зразка, цей мартенсит стійкий, оскільки він не розпався після відпуску (473К).

Якщо зразок сталі 20, який не піддавався нітроцементуванню, загартувати в маслі при температурі 1123К і потім виконати відпуск (473К), то мартенсит, що утворився в поверхневому шарі зазнає помітного розпаду (виділення карбідів), що призведе до погіршення механічних властивостей.

Мартенсит після гартування має досить високу твердість, але при цьому він досить крихкий. Тому після гартування для зняття мікронапружень виконують відпуск, в результаті якого може спостерігатися незначне погіршення механічних властивостей (зниження твердості).

Зразки які використовувалися в роботі, після виконання відпуску не спостерігалось зниження мікротвердості за рахунок зняття мікронапружень (рис.3.3), оскільки відбулося виділення дисперсних частинок карбонітридів, що дозволило отримати оптимальні характеристики поверхневого шару.

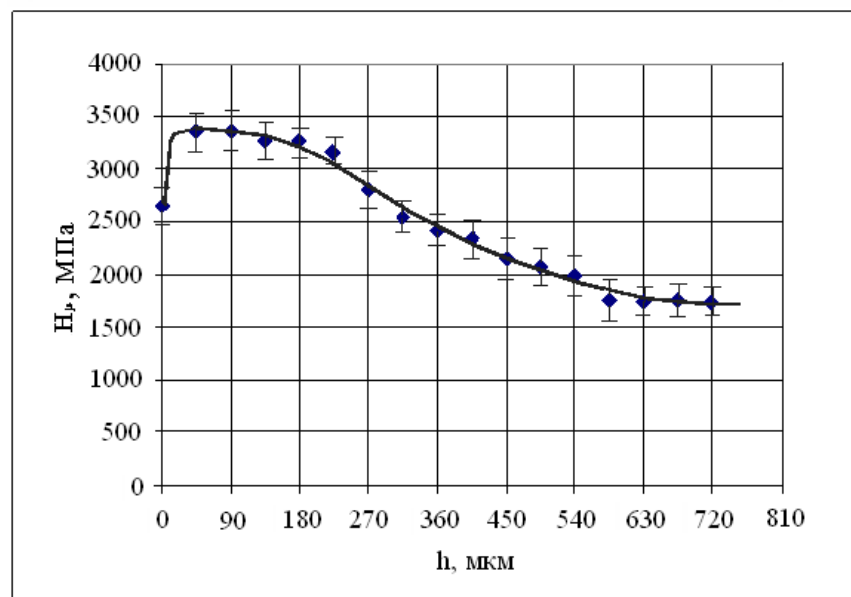


Рисунок 3.3 – Розподіл мікротвердості з глибиною нітроцементованого шару

При досліджуванні зразка після ХТО спостерігається зміна структури поверхневого шару метала. На рис. 3.4 показано зміну структури на глибину

шару нітроцементациї. видно, що біля поверхні міститься значна кількість мартенситу, а також залишкового аустеніту (світлі ділянки). У міру віддалення від поверхні, площа зайнята темними ділянками збільшувалась, а площа зайнята світлими ділянками, поступово зменшувалась і майже повністю зникла. Згідно з даними [25], при нітроцементациї виконаної по режиму, використовуваному в роботі, по границі зерен мартенситу може проявлятися троостит. Отже, можна припустити, що темні ділянки описані вище, мали структуру троститу, але підтвердити металографічно це неможливо. Із збільшенням глибини насичувального шару (нижня частина рис.3.4) спостерігається поступовий перехід від поверхневої структури до ферито-перлітної структури.

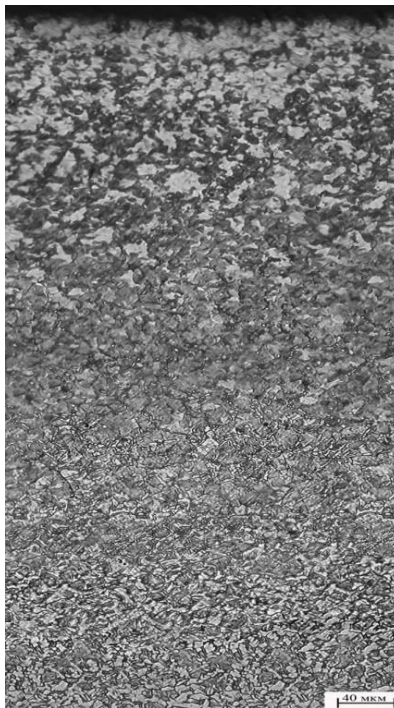


Рисунок 3.4 – Зміна мікроструктури поверхневих шарів з глибиною зразка сталі 20 після ХТО

Таким чином, в насиченому поверхневому нітроцементованому шарі можна виділити три зони:

- 1 – поверхнева зона зміцнена мартенситом і карбонітридами;

- 2 – перехідна зона;
- 3 – ферито-перлітна зона (серцевина).

Наявність перелічених зон було підтверджено результатами дюрOMETИЧНОГО аналізу – величина мікротвердості поступово знижується в напрямку від насичувальної поверхні до серцевини (рис.3.4). На поверхні зразка спостерігається зменшення мікротвердості до найбільшого значення, це може бути пов'язано з різницею фазового складу приповерхневого шару (дефектний шар близько 15мкм) та глибшого шару.

Таким чином, виходячи з даних отриманих металографічним і дюрOMETИЧНИМ методом можемо сказати, що отриманий насуваний нітроцементований шар, після проходження гартування і низькотемпературного відпуску має структуру мартенситу з залишковим аустенітом.

Завдяки цій структурі покращуються механічні властивості сталі: збільшується зносостійкість, міцність та покращуються експлуатаційні властивості виробу

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 В цьому розділі наведені основні небезпечні фактори, які можуть виникнути при обробці зразків на всіх етапах виконання.

Нітроцементация виконувалась в шахтній печі Ц-60. Для дослідження зразків біли використані прилад для вимірювання твердості ТК-2, оптичний мікроскоп МИМ-8, а для оформлення дипломної роботи використовувався ноутбук. Робота на цьому обладнанні передбачає дотримання правил безпеки, тому до виконання робіт допускаються працівники які пройшли інструктажі з техніки безпеки та охорони праці.

При роботі з зазначеним обладнанням існує небезпека електричного впливу (ураження електричним струмом внаслідок торкання оголених частин проводів, які з'єднуються з приладами, що знаходяться під напругою) та виникнення пожежі в результаті короткого замикання.

Під час роботи в металографічній лабораторії також існує небезпека механічного впливу (поранення абразивним інструментом, зразками при витягуванні із заливки та закладення зразків), хімічного впливу(хімічні опіки реактивами при травленні зразків), термічного впливу(опіки гарячими зразками), впливу навколишнього середовища(утворення пилу при сухому шліфуванні, роботі з дрібним абразивом і порошками).

При виконанні обробки зразків в печі Ц-60 необхідно суворо дотримуватись правил роботи з піччю, бо існує небезпека вибуху. Визначимо основні заходи, використані для зменшення впливу вище наведених небезпечних факторів:

- можливість отримання механічних травм [26], що може бути пов'язано з порушенням правил з охорони праці при підготовці деталей до нітроцементации;

- надлишкова напруженість та інтенсивність праці;

- негативний вплив теплового випромінювання при завантаженні садки в піч, що може бути пов'язано з відсутністю індивідуальних засобів захисту;
- можливість отримання термічних опіків внаслідок виплесків гартувального мастила при гартуванні;
- можливість отримання механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для випробування твердості;
- небезпеки, які пов'язані з використанням насичуваних в процесі нітроцементування, зокрема при підготовці насичуваної атмосфери;
- можливість ураження електричним струмом. Головними причинами можуть бути порушення правил електробезпеки, несправність енергоспоживаючого обладнання. Відсутність групових або індивідуальних засобів захисту;
- підвищена загазованість шкідливими речовинами в процесі нітроцементування, що є специфікою цього процесу та може призвести до отруєння;
- незадовільне освітлення, через вихід з ладу чи забрудненість приладів освітлення, що призводить до погіршення зору;
- можливість загорянь, причиною яких є порушення правил пожежної безпеки, що може призвести до пожеж.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки.

Для виключення механічних травм передбачено:

- Організаційні заходи дотримання чистоти і порядку на робочих місцях: використання індивідуальних засобів захисту, а саме брезентові захисні костюми, рукавиці брезентові, спеціальне взуття з металевим битком, на носку; при роботі з нагрітими матеріалами використовуються волочені

костюми, азбестові фартухи і рукавиці згідно із ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».

– Технічні: використання тільки справного інструменту та їх пристосувань. Пересування оброблювальних деталей по дільниці, як правило виконується за допомогою кран – балки, в зв'язку з цим існують вимоги, до зачеплення тари з деталями яке не повинно призвести до повороту цієї тари. Пересування повинно виконуватись тільки за схемою переміщення, одночасний рух в напрямках суворо забороняється. Перед початком роботи доцільно перевірити працездатність блокуючи кінцевих перемикачів та гальмівної системи.

– Для зменшення негативного впливу напруження та інтенсивної праці передбачено: оптимальний розподіл робочого часу (10 хв на 1 годину) та використання засобів автоматизації та механізації.

– Основним захистом від теплових потоків підвищеною інтенсивністю використовують спеціальний одяг, для захисту від підвищених температур (суконний одяг) згідно із ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ «Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения», в тому числі з азбестовими накладками, на головних щитків згідно із ГОСТ 12.4.035-78 ССБТ «Щитки защитные лицевые. Технические условия».

– Для виключення можливості опіків при виплесках гартувального мастила при гартуванні використовують спеціальний одяг (суконний чи брезентовий) згідно із ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ «Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения» та інструктажі по техніці безпеки при роботі із гартувальним мастилом.

– Для виключення механічних травм при підготовці зразків для випробування на твердість використовують тільки справне обладнання, а також не допускають працівників, які не пройшли інструктажі з правил безпеки. Перед установкою абразивного круга ретельно оглянути і перевірити

токарно-шліфувальний верстат, та абразивний круг на відсутність тріщин легким постукуванням (в підвішеному стані) дерев'яним молотком масою 200-300 г. Справний круг при постукуванні дає чистий дзвінкий звук, несправний - глухий. При обробці абразивними кругами виробів, утримуваних в руках, застосовують підручники. Підручники повинні бути пересувними, які забезпечують можливість установки їх в необхідне положення по мірі обертання круга НПАОП 28.52-1.22-64 «Правила и нормы безопасной работы с абразивным инструментом.» Не приступати до роботи при відсутності захисного екрана або бічних стінок.

– Для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені основні заходи електробезпеки:

Організаційні. До роботи допускаються особи які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки та отримали допуск до певної групи електробезпеки згідно ПУЕЗ 2017 або ПТБЕ. Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал.

Технічні. розташування не ізолюваних струмопровідних ліній на недоступній висоті (до 1000 Вт, не менше 3,5 м, а вище 1000 Вт, не менше 6м), також передбачене заземлення. Спуски шинопроводів повинні бути надійно огороженні суцільним огороженням, відкриття якого можливе для спеціальних пристроїв. Кабельні мережі повинні мати надійну ізоляцію опір якої не менше 0,5 МОм. Усе технологічне обладнання надійно заземлене ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Защитное заземление, зануление». Обов'язковим є використання блокуючих і ізолюючих пристроїв.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.

Для виключення підвищеної загазованості шкідливими речовинами в

процесі азотування над пічками потрібно розміщувати місцеву вентиляцію, яка буде всмоктувати шкідливі гази.

При освітленні виробничих приміщень використовують природне освітлення та штучне, здійснюване електричними лампами, і комбіноване, при якому в світлий час доби недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним. До складу системи штучного загального рівномірного освітлення рекомендовані дуго-розрядні лампи типу ДРЛ 250 – 400 Вт, які встановлені в світильники типу РСІ по одній шт.

Виробничу будівлю проектуємо з урахуванням можливості максимального використання природного освітлення, що дозволить отримати значну економію електроенергії. Виробниче освітлення в проектуваному цеху передбачає як природне, через скло стін прольоту і на даху будівлі - крізь світлові вставки ліхтарі, так і штучне. Освітлення робочого місця виконана відповідно с ДНБ В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне та штучне освітлення».

Норма освітлення для цеху 200лк. При верхньому і боковому природному освітленні коефіцієнт природної освітленості буде не менше 2, а при верхньому і боковому буде не менше 1.2. Світильники місцевого освітлення оснащені відбивачами, виготовленими з матеріалу, що не просвічує та із захисним кутом не менше 30 градусів, а при розташуванні світильників нижче рівня очей працюючого - не менше 10 градусів. Крім робочого освітлення в цеху передбачено аварійне освітлення, яке необхідно для освітлення в випадку аварій і надзвичайних ситуацій.

Для приведення параметрів повітряного середовища до норм, вказаних в таблиці 4.1, на ділянці встановлюється система загальнозмінної вентиляції. Проект вентиляції виконується відповідно до СНіП 20485-86 «Опалювання, вентиляція і кондиціонування. Норми проектування». При проектуванні враховуються вимоги ГОСТу 121005-88 «Загальних санітарно-гігієнічних вимог до повітря робочої зони» і СН 245-71 «Санітарні норми проектування

промислових підприємств». У холодний період використовується калорифер.

Розрахунок продуктивності природної вентиляції:

$$L=K \cdot V_n, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.1)$$

де: K – кратність повітря обміну ($K=2$)

V_n – об'єм приміщення

$$S = 850\text{м}^2 \text{ h}=7$$

$$L= K \cdot V_n = 2 \cdot (850 \cdot 7) = 11900 \text{ м}^3$$

Таблиця 4.1 – Оптимальні норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Сезон року	Температура, °С (оптимально- допустима)	Відносна вологість, % (оптимальна)	Швидкість руху, м/с (оптимальна)
Холодний період	16-19	40-60	<0,3
Теплий період	18-26	40-60	<0,4

Розрахунок продуктивності природної вентиляції:

$$L=K \cdot V_n, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.2)$$

де: K – кратність повітря обміну ($K=2$)

V_n – об'єм приміщення

$$S = 850\text{м}^2 \text{ h}=7$$

$$L = K \cdot V_n = 2 \cdot (850 \cdot 7) = 11900 \text{ м}^2$$

Розрахунок кількості зовнішнього повітря, необхідного для асиміляції надлишкового тепла у приміщенні:

$$L = \frac{Q}{c \cdot \gamma (t_{\text{вн.}} - t_{\text{зовн.}})} \text{ м}^3/\text{ГОД} \quad (4.3)$$

де: Q – загальна кількість тепловиділення, кДж/год

c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1 кДж/(кг °С)

γ – густина зовнішнього повітря

$$Q = 38000 \text{ кДж/год}$$

$$t_{\text{вн.}} = 37, \text{ } ^\circ\text{С}$$

$$t_{\text{зовн.}} = 27, \text{ } ^\circ\text{С}$$

$$\gamma = \frac{353}{273 + 27} = 1,17 \text{ кг/м}^3$$

$$L = \frac{38000}{1 \cdot 1,17 (37 - 27)} = 3247,8 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

4.4 Заходи з пожежної безпеки.

Згідно із ДНБ В.1.1.7. - 2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» ступінь вогнестійкості будівельних конструкцій будівлі - II, тобто воно зібрано в основному з важко займистих матеріалів.

Основні причини пожеж в цеху:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електрообладнання (коротке замикання, перевантаження)
- конструктивні недоліки обладнання;
- ремонт обладнання на ходу.

Заходи з пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильне утримання будівель, території, протипожежний інструктаж працівників, і т.д.

До технічних заходів належать, дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, при влаштуванні електромереж і устаткування, опалення, вентиляції, освітлення, правильне освітлення обладнання.

Заходи режимного характеру - це заборона куріння в невстановлених місцях, виробництва зварювальних та інших вогневих робіт в пожежонебезпечних приміщеннях.

Кількість первинних засобів пожежогасіння визначаються відповідно до НАПБ 03.001 - 2004 «Типові норми належності вогнегасників». Площа цеху 1815 м². Виходячи з цього обираємо 2 порошкових вогнегасника, ємністю по 5 кг кожен.

При проектуванні передбачені шляхи евакуації на випадок пожежі - по проходах, проїздах, аварійні виходи. Оскільки будівля одноповерхова, то

евакуаційним вважається вихід, що веде з приміщень цеху назовні через коридор (вестибюль). Шляхи евакуацій розосереджені, і найбільша відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого виходу не перевищує 50 м.

Таблиця 4.2 – Інвентар пожежного щита

№ Назва Кількість	Назва	Кількість
1	Вогнегасник	3
2	Ящик з піском	1
3	Сокира / Лом	2
4	Лопата	2
5	Відро	2
6	Багор	2

Ширина пожежних проїздів дорівнює 4 м. Ширина проходів, службовців для евакуації людей, 1 м, коридорів 1,4 м, дверей 2 м. Всі ворота і двері, службові для евакуації людей, відкриваються назовні.

Будівля забезпечена різним протипожежним інвентарем і вогнегасниками, є внутрішній пожежний водопровід.

Згідно з НАПБ 03.001 - 2004 «Типові норми належності вогнегасників» в цеху встановлено пожежний щит. У таблиці 4.2 наведено інвентар пожежного щита.

ВИСНОВКИ

Наявність високого вмісту мартенситу (~ 90 %) в структурі поверхневих шарів сталі 20 після нітроцементзації викликала підвищення твердості у них 22 HRC до 60 HRC.

Відпуск нітроцементованих зразків сталі 20 при температурі 453...473 К не призводив до зниження мікротвердості поверхневих шарів зразків через зняття механічних напружень внаслідок виділення незначної кількості дисперсних карбонітридів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Павленко В.П. Материалознавание: Підручник – К.: Освіта України, 2011. – 504 с.
2. Мовчан В.Г., Мовчан О.Г. Материаловедение : Подручник для студентов высших начальных закладов – К. :Кондор, 2008. – 376 с.
3. Дятлов В.И., Левченко В. М. Теория и практика термической обработки металлов: Подручник – К.: Политехника, 2013. – 312 с.
4. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева Материаловедение: Учебник для машиностроительных вузов, 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
5. А.И.Самохоцкий, Н.Г.Парфеновска Технология термической обработки металлов, 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1976. – 311 с.
6. А.Н. Минкевич Химико-термическая обработка металлов и сплавов, 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1965 – 495 с.
7. Grachev S.V Boronizing and borochromizing in a vibrofluidized bed / S.V. Grachev, L.A.Mal'tseva, T.V. Mal'tseva, A.S.Kolpakov, M.Yu Dmitriev / Metal Science and Heat Treatment. – 1999. – Vol.41, №11. – P. 465– 468.
8. H. Holberg and A. Aittokoski Boriding: Theory and practice – Amsterdam: – Elsevier, 2014 – 384 p.
9. G. Krauss, R. C. Ruhl Principles of Heat Treatment of Steel - Material Park (Ohio): – ASM International, 1997. – 736 p.
10. S. M. Copley, R. A. H. Edwards, J. A. Houghton. "Heat Treatment and Properties of Iron and Steel" – NY: CRC Press, 1980. – 512 p.
11. Sokolov A.G., Effect of process factors and chemical composition of steels on the structure and properties of nickel-bearing diffusion coatings / A.G Sokolov, Artem'ev V.P // Metal Science and Heat Treatment. – 2007. – Vol.49, №3-4. – P. 194 – 199. 34

12. Mittal V. K. Surface Hardening of Metals – Oxford : - Elsevier, 2019. – 712 p.
13. Kyhareva N.G. Carburizing and nitriding of the steel 20 in fluid bed./ N.G. Kyhareva, T.Babyl, A.A.Shipko, T.N.Shtolik // Metal Science and Heat Treatment. – 1975. – Vol.17, №1 – P.37-40.
14. E. A. Gulyaev Chemical Heat Treatment of Metals – Amsterdam : - Elsevier, 1989. – 368 p.
15. Шубин Р.П., Гринберг М.Л. Нитроцементация деталей машин – М.: Машиностроение, 1975. – 207с.
16. A. L. Greer, A. E. Romanov, and A. S. Argon "Diffusion and Interface Phenomena in Materials" – Amsterdam: - Elsevier, 2005. – 704 p.
17. A. F. Zoeller Nitrocarburizing Case Hardening by Gas Nitriding – Amsterdam : – Elsevier, 1999. – 320 p.
18. Gyulikhandanov E.L. Kinetics of steel saturation with nitrogen and carbon during high temperature carbonitriding with high nitrogen potential/ E.L.Gyulikhandanov, V.I. Shapochkin // Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov – 1994. – № 4. – P. 2-5.
19. Bannykh O.A., Drits M.E. State diagrams of double and multiple iron-based systems: Handbook. – М.: Metallurgy, 1996. – 439 p.
20. Bogomolova N.A. Practical metallography: Textbook. for medium Vocational school. – 3rd ed., revised. and additional – М.: Higher School, 1987. – 240
21. Bogomolova N.A. Practical metallography: Textbook. for medium Vocational school. – 3rd ed., revised. and additional – М.: Higher School, 1987. – 240 p
- 22.. Beckert M., Klemm H. Methods of metallographic etching: Handbook Transl. with him. N.I. Turnina, E.Ya. Kaputkina - М.: Metallurgy, 1988 – 400 p.
23. Халявко В.В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів: Навчальний посібник – К.: Центр учбової літератури, 2016. – 156с

24.Лахтин Ю.М. Металлургия и термическая обработка металлов: Учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.

25.Кокорин В.В. Мартенситные превращения в неоднородных твёрдых растворах. – К: Наук. думка, 1987. – 168 с.

26. Охорона праці в галузі: Конспект лекцій та методичні вказівки з виконання контрольних робіт для студентів технічних вузів / Укл.: О.М. Савчук. – Запоріжжя: Просвіта, 2004. – 164 с.