

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)
Кафедра фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему: Дослідження особливостей процесів
хіміко-термічного оброблення з використанням
природних виводнів

Виконав: студент IV курсу, групи БІДМ
спеціальності (напряму підготовки)

132 Термічна обробка металів
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гарбачков М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Сотников Е.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Бялік Т.А.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2019 рік

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

Інститут, факультет Інженерно-фізичний
 Кафедра фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) _____
 Спеціальність 132 термична обробка металів, матеріалознавство
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

/Завідувач кафедри

Кемеров О.В."16" 12 2019 року

З А В Д А Н Н Я
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Боробанов Микола Вікторович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження особливостей процесів
 хіміко-термічного оброблення з використанням природ-
 них вуглеводів
 керівник проекту (роботи) _____
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" листопада 2019 року № 388

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2019 р.

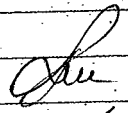
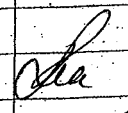
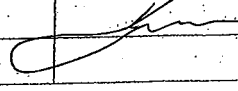
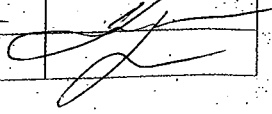
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Цементнаційні сталі марок
 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХНЗА

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд, аналіз умов експлуатації та впливу во матеріалу, загальний огляд сталей, які піддаю-
 ться цементуванню змучено, сталі які використовуються
 для виготовлення з'єднань коїс, вплив легируючих еле-
 ментів на властивості сталей

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

Проектування

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
5	Крушкова В.В к.е.н. доцент		
6	Кестеров О.В к.т.н. доц.		
Норм. контр.	Піаг Д.В.		

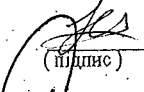
7. Дата видачі завдання _____

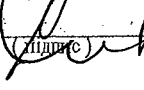
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Розділ 1 літературний огляд		
	Розділ 2 Матеріали та методика досліджень		
	Розділ 3. Вивив мікроелектронне (модування) на вільну енергію мех. поділу і морфологію прилежностей фаз у сплавах на основі заліза		
	Розділ 4 Охорона праці		
	Розділ 5. Впровадження технології газної цементації		
	Розділ 6. Економічна частинка		

Студент

Керівник проекту (роботи)

 Боробанов М.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

 Собольов С.Г.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 76с., рис.20, табл.,17 джерел 14.

Об'єкт дослідження – цементацийні сталі марок 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А.

Предмет дослідження – дослідження особливостей процесів хіміко-термічного оброблення з використанням природних вуглеводнів.

Мета роботи: дослідження - технології цементації та термічної обробки зубчастих коліс виготовлених зі сталей 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А, та впровадження технології газової цементації з використанням природного газу. Для деталей зі сталей марок 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А розглянути хімічний склад, вплив легувальних та механічні властивості після термічного оброблення. Описати процес газової цементації з використанням природного газу, його особливості. Обрати способи контролю товщини цементацийного шару деталей. Дослідити, як додавання рідкоземельних металів впливатиме на енергетичний стан меж поділу в сталях марок 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А. Обрати обладнання для виконання цементації та подальшого термічного оброблення.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	7
1.1 Аналіз умов експлуатації та вимоги до матеріалу.....	7
1.2 Загальний огляд сталей, які піддаються цементаційному зміцненню.....	10
1.3 Сталі які використовуються для виготовлення зубчастих коліс. Вплив легувальних елементів на властивості.....	12
1.4 Термічна обробка цементованих сталей в газовому середовищі.....	15
1.5 Цементация сталі з використанням природного газу.....	17
1.6 Регулювання вуглецевого потенціалу.....	19
1.7 Режим подачі карбюризатора.....	20
1.8 Гартування сталей після цементації.....	21
1.9 Відпуск сталей після цементації.....	23
1.10 Структура цементаційних сталей.....	23
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
2.1 Матеріали для дослідження.....	29
2.2 Підготовка зразків після цементації для контролю товщини цементаційного шару мікроскопічним методом контролю.....	31
2.3 Устрій електронно просвідчуючого мікроскопу ПЕМ-100.....	32
3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	34
4. ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ.....	47
4.1 Цементация у газовому середовищі.....	47
4.2 Розробка технології термічної обробки.....	48
4.3 Обладнання для термічної обробки.....	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	58
5.2. Заходи по забезпеченню безпеки.....	59

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	62
5.4 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	65
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	65
5.4.2 Оповіщення населення про виникнення надзвичайних ситуацій.....	66
6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	68
6.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій.....	68
6.2 Техніко-економічні розрахунки.....	69
6.2.1. Характеристика продукції.....	69
6.2 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	73
ВИСНОВОК.....	75
ЛІТЕРАТУРА.....	76
ДОДОТОК.....	77

ВСТУП

Експлуатаційні властивості зубчастих передач в значній мірі залежать від точності виготовлення, довготривалої міцності і надійності зубчастих коліс, котрі є основною складовою і одними з найважливіших складових зубчастих передач.

Якість зубчастих коліс визначається їх конструкцією, технологією виготовлення, термічною обробкою і властивостями металу. Вимоги, що висуваються до властивостей цементових сталей і критеріїв їх якості суттєво відрізняються від вимог для інших машинобудівних сталей і сплавів.

Для оцінки працездатності цементових сталей значне місце має локальний опір втомі в зоні контакту зуба. Тому потрібно приділити увагу товщині цементованого шару.

У розвитку машинобудівної промисловості значна роль належить термістам, так як термічна обробка є найбільш важливою операцією загального технологічного циклу виготовлення і обробки будь-яких виробів. Від правильного виконання якої залежить якість (механічні та фізико-хімічні властивості) виготовляємих деталей машин і механізмів, інструменту та іншої продукції.

Термічній обробці можуть піддаватися кольорові метали, сплави або сталі різної категорії. Залежно від вибраного режиму нагріву, виду термічної обробки і температури охолодження можна отримати різну структуру і властивості матеріалу. Нагрівання і подальше охолодження з певною швидкістю і за певних умов встановлюється окремо, виходячи з властивостей і структури початкового металу.

Цементация є найбільш давнім і найбільш часто застосовуваним методом поверхневого зміцнення сталевих виробів для підвищення їх зносостійкості при експлуатації. Проблема поверхневого науглецювання сталей присвячена велика кількість літератури. Однак в практиці роботи підприємств в ряді випадків виникає необхідність коригування процесу цементации і наступної термічної обробки для отримання оптимальної структури шару і матриці сталі.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз умов експлуатації та вимоги до матеріалу.

Зубчасті колеса (рис. 1.1) - основна деталь зубчастих передач у вигляді диска з зубцями на циліндричній або конічній поверхні, що входять в зачеплення із зубцями іншого зубчастого елемента. Зубчасті колеса призначені для відбору енергії і перетворення обертання і моментів обертуту, як за величиною, так і за напрямком, і передачі енергії до місць призначення. Застосування зубчастих передач для цих цілей обумовлено їх компактністю, надійністю і високим ККД, що доходить в одному зачепленні до 0,99%. Зубчасті передачі однаково добре працюють як при малих, так і при надвисоких частотах обертання, точно витримуючи заданий закон руху і працюючи практично необмежено довго.



Рисунок 1.1 - Зубчасте колесо

Точність виготовлення зубчастих коліс визначають кінематичні та експлуатаційні показники, а також такі характеристики як інтенсивність шуму, вібрації, міцність, втрати на тертя.

Норми кінетичної точності визначають величину похибки передатного відношення -повної похибки кута повтору зубчатого колеса за один його оберт.

Норми плавності роботи визначають величину циклічної похибки передатного відношення - складових повної похибки кута повороту колеса, що багатократно повторюються за один оберт.

Норми контакту зубців визначають повноту прилягання робочих поверхонь зубців.

Норми бічного зазору регламентують гарантований (найменший) бічний зазор між неробочими (при одному напрямі обертання) поверхнями зубців. Цей зазор запобігає заклинюванню передачі при її нагріванні та появі ударів по неробочих профілях при динамічному навантаженні, забезпечує потрібні умови змащування зубців. За нормами кінематичної точності , плавності роботи та контакту зубців встановлюється 12 ступенів точності для кожного параметру. Найбільш розповсюджений в машинобудуванні 5,6,7,8,9 (точність зменшується). Рекомендації щодо вибору ступеня точності залежать від колової швидкості обертання зубчастого колеса.

Бічний зазор встановлюється видом спряження зубчастих коліс та видом допуску на бічний зазор. Встановлено 6 видів спряження А,В,С,Д,Е,Н (зазор зменшується) та 8 видів допуску на бічний зазор x, y, z, a, b, c, d, h . При спряженні Н мінімальний бічний зазор дорівнює нулю. Рекомендується для більшості силових передач – спряження В, для реверсивних - С, Д.

Причини руйнування зубчастих коліс:

1) Втомне викришування активних поверхонь зубців - пов'язане з дією циклічно змінних контактних напружень. Ці напруження сприяють виникненню втомних тріщин у поверхневих шарах і викришуванню металу. Це руйнування не завжди небезпечне. При припрацюванні спостерігається обмежене викришування. Небезпечне – прогресуюче руйнування. При наявності мастила – сприятливі умови для розвитку мікротріщин та викришування. Запобігання: обмеження контактних напружень, підвищена твердість, точність виготовлення і монтажу.

2) Руйнування зубців:

а) від великих перевантажень;

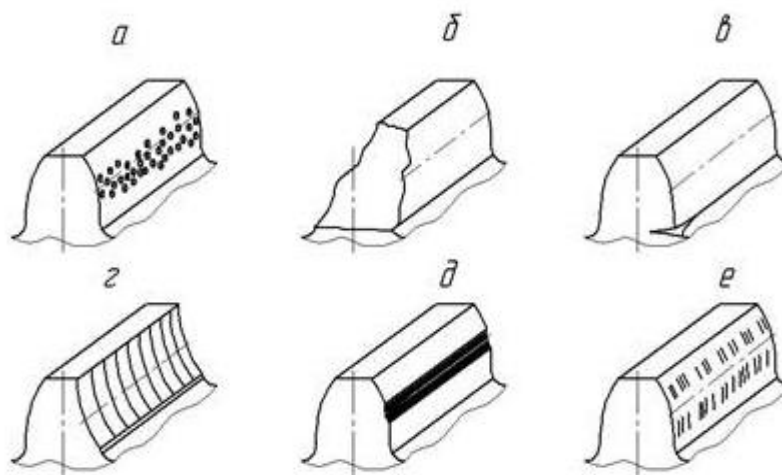
б) втомнеруйнування внаслідок дій змінних напружень згину; тріщини виникають в області переходу зубців у обід колеса. Руйнування найчастіше мають місце в чавунних колесах і колесах із високою твердістю зубців. Заходи: збільшення модуля, використання додатних коефіцієнтів зміщення при нарізуванні, зміцнення поверхонь в основі зубця, захист від перевантаження, підвищення точності виготовлення та монтажу.

3) Відшарування поверхневих шарів зубців. Через періодичну дію глибинних контактних напружень під зміцненим шаром виникають втомні тріщини (колеса з цементованим, азотованим або поверхнево загартованим шаром). Заходи: потрібно забезпечити відповідно товщину шару та достатню міцність серцевини зубця.

4) Абразивне спрацювання зубців. Основна причина - недостатнє змащування. Суть в стиранні активних поверхонь, яка залежить від тиску, швидкості ковзання зубців, абразивних частинок. В результаті спрацювання збільшуються зазори, шум, динамічне навантаження, зменшується міцність. Заходи: збільшення твердості поверхонь зубців, використання мастил, захист від попадання абразивних частинок.

5) Пластична деформація зубців може виникнути в зоні контакту зубців. Заходи: збільшення твердості зубців.

6) Заїдання, які спостерігається переважно у високонавантажених і високошвидкісних передачах. У зоні контакту розвивається висока температура, в результаті - розрив масляної плівки $\Rightarrow$ металевий контакт $\Rightarrow$ зчіплювання частинок металу з подальшим відриванням. На рисунку 1.2 наведено види руйнування зубців зубчастих коліс. [1]



Втомне викришування активних поверхонь (рис. 1.1а), поломка зубців (рис. 1.1.б), відшарування поверхневих шарів зубців (рис. 1.1в), абразивне спрацювання (рис. 1.1.г), пластична деформація (рис. 1.1.д) та заїдання зубців (рис. 1.1.е).

Рисунок 1.1 - Види руйнування зубців зубчастих коліс.

Вказані види дефектів значно впливають на працездатність зубчатих коліс та механізмів, до яких вони входять.

З вище наведеного можна зробити висновок про те, що для виготовлення зубчастих коліс найкраще підходять конструкційні леговані сталі, які піддаються цементаційному зміцненню.[1, 2]

1.2 Загальний огляд сталей, які піддаються цементаційному зміцненню.

Для отримання після цементації і наступної термічної обробки високої твердості поверхні та пластичної серцевини деталі виготовляють з низьковуглецевих сталей, які містять 0,1-0,2%С, з незміцнювальною серцевиною - якісних конструкційних сталей 10, 15, 20, автоматних сталей А12, А20, сталей звичайної якості Ст3, Ст4. Вуглецеві сталі застосовують для виготовлення мало навантажених деталей, що працюють в основному на знос, коли міцність серцевини не впливає на експлуатаційні властивості деталі.

При необхідності отримання після цементації і наступної термічної обробки більш міцної серцевини використовують леговані цементаційні сталі з вмістом вуглецю 0,1-0,3% (15Х, 20ХФ, 20ХГ, 18ХГТ, 25ХГТ, 20ХНМ, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 15ХГНТА, 15Х2ГН2ТА, 25Х2ГНТА, 15ХР, 20ХГР, 18ХСНРА, 15Х2Н2ТРА, 25ХНТЦ, 20ХГНТР і ін.). Леговані цементаційні сталі застосовують для виготовлення відповідальних важко навантажених деталей. Після гарту з низьким відпуском сталі 15Х, 20ХФ, 16ХР мають межу міцності $\sigma_B = 75-90$ кгс/мм² (750-900 МН/м²) і межу плинності $\sigma_T = 60-75$ кгс/мм² (600-750 МН/м²). Більш високі механічні властивості $\sigma_B = 100-130$ кгс / мм² (1000-1300 МН/м²) і $\sigma_T = 85-110$ кгс/мм² (850-1100 МН/м²) мають сталі 18ХГТ, 12ХНЗА, 12Х2ША, 15Х2Н2ТА, 20ХГР, 15Х2Н2ТРА. Найбільшу міцність $\sigma_B = 140-150$ кгс/мм² (1400-1500 МН/м²) і межу плинності $\sigma_T = 120-135$ кгс / мм² (1200-1350 МН/мм²) мають сталі 25ХГТ, 20Х2Н4А, 25Х2ГНТА з підвищеним вмістом вуглецю (до 0,3%). Отримана після цементації і наступної термічної обробки тверда і міцна серцевина деталей із сталей з підвищеним вмістом вуглецю захищає цементований шар від продавлювання при великих питомих навантаженнях. Це дозволяє знизити товщину цементаційного шару, тобто скоротити тривалість цементації. Крім того, перевагою сталей з підвищеним вмістом вуглецю є їх велика прогартованість а також те, що після цементації і гартування отримується менша кількість залишкового аустеніту зв'язку з більш низькою температурою гартування і підстужування.

При виборі цементаційних сталей необхідно враховувати її прогартованість, схильність до перегріву, кількість залишкового аустеніту після гартування, схильність до деформації в процесі термічної обробки, різання, вартість. Легувальні елементи впливають на властивості цементованих сталей - збільшують прогартованість, зменшують схильність до зростання зерна при нагріванні, забезпечують отримання високих механічних властивостей.

Набули поширення цементовані сталі, леговані титаном, цирконієм, бором. Титан і цирконій затримують зростання зерна аустеніту, тому сталі, леговані цими елементами, є спадково дрібнозернистими. Виготовлені з таких сталей деталі

гартують безпосередньо після виїмки після газової цементаційної печі (з попереднім підстижуванням).[3]

1.3 Сталі які використовуються для виготовлення зубчастих коліс. Вплив легувальних елементів на властивості.

Для виготовлення зубчастих коліс, які надалі зміцнюють цементацією, застосовують низьковуглецеві (0,1-0,2%С) сталі марок 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХНЗА. Вміст легувальних елементів в них не повинен бути занадто високим, але має забезпечувати необхідну прогартованість поверхневого шару і серцевини. Тому сумарна кількість легувальних елементів у них не перевищує 3-5% і за структурою вони належать до сталей перлітного класу. Після цементації, гартування та низького відпуску цементований шар повинен мати твердість 58-62 HRC, а серцевина 30-42 HRC, що забезпечує підвищену границю текучості.

Підвищення вмісту вуглецю в сталі полегшує перехід сталі в холодноламкий стан. Кожен 0,1%С підвищує температуру порогу холодноламкості в середньому на 20⁰С і підвищує інтервал переходу від в'язкого до крихкого стану.

Хром - відносно дешевий і поширений легуючий елемент в сталях. Він підвищує точку A_3 і знижують точку A_1 (замикає область існування γ -заліза) та розширює область існування α -заліза (рис-1.3.). Температура евтектоїдного перетворення сталі (точку A_1) в присутності хрому підвищується, а вміст вуглецю в евтектоїді (перліті) знижується. З вуглецем хром утворює карбіди (Cr_7C_3 , Cr_4C) більш міцні і стійкі, ніж цементит. Розчиняючись в фериті, хром підвищує його твердість і міцність, незначно знижуючи в'язкість. Хром значно збільшує стійкість переохолодженого аустеніту. [3]

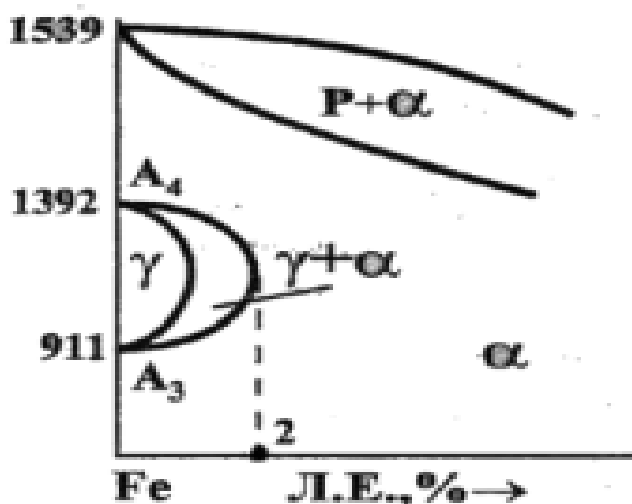


Рисунок 1.3 - Діаграма фазової рівноваги Fe-Cr.

Нікель не утворює в сталях карбідів. У сталях він є елементом, що сприяє утворенню і збереженню аустеніту. Нікель підвищує міцність сталей. У поєднанні з хромом і молібденом нікель ще більше підвищує здатність сталей до термічного зміцнення, сприяє підвищенню в'язкості і втомної міцності сталей. Розчиняючись в фериті, нікель підвищує його в'язкість, збільшує опір корозії.

Марганець значно збільшує міцність, в невеликих кількостях майже не знижує пластичність і різко зменшує червоноламкість сталі, тобто крихкість при високих температурах, викликану впливом сірки.

Кремній уповільнює процес відпуску мартенситу. Розчиняючись в твердому розчині, він сильно викривлює кристалічну ґратку заліза, що приводить до зростання міцності, твердості та зниження пластичності.

Кремній та марганець можуть бути присутніми в сталі, як корисні домішки та як легувальні елементи.

Вміст кремнію в сталі, як домішки не повинен перевищувати 0,35...0,4%, а марганцю 0,5-0,8%. Кремній і марганець переходять в сталь в процесі її розкислення при виплавці. Вони розкислюють сталь, тобто поєднуються з киснем і залізом, і у вигляді окислів переходять в шлак. Ці процеси розкислення покращують

властивості сталі. Кремній залишається після розкислення в твердому розчині (уфериті), сильно збільшує границю плинності.

Титан збільшує міцність та щільність сталі, сприяє подрібненню зерна, є гарним розкислювачем, покращує оброблюваність і опір корозії.

Сірка є шкідливою домішкою в сталі. З залізом вона утворює хімічну сполуку FeS, яка майже не розчиняється у твердому стані, але розчиняється у рідкому металі. Сполука FeS утворює з залізом легкоплавку евтектику з температурою плавлення 988°C . Кристалізується з рідкого стану по закінченні отвердіння, евтектика переважно розташована по границям зерен.

Фосфор також є шкідливою домішкою і вміст його, в залежності від якості сталі, допускається не більше 0,025 - 0,045%.

Розчиняючись у фериті, фосфор сильно спотворює кристалічну ґратку і збільшує границі міцності і плинності, але зменшує пластичність і в'язкість. Зниження в'язкості тим більше, чим більше в сталі вуглецю. Фосфор значно підвищує поріг холодноламкості сталі і зменшує роботу розвитку тріщини. Сталь, що містить фосфор на верхній границі для промислових виплавок (0,045%), має роботу поширення тріщини в 2 рази меншу, ніж сталь, що містить менше 0,005% P. Кожний 0,01% P підвищує поріг холодноламкості сталі на $20 - 25^{\circ}\text{C}$.

Карбідоутворювальні елементи C і Mg зсувають евтектоїдну точку в бік менших значень вуглецю, це свідчить про явну можливість утворення карбідної сітки після процесу цементації. Оскільки, як правило руйнування відбувається при наступному гартуванні (на мартенситну структуру в сталі 30ХГСА), то в цьому випадку край необхідно застосовувати мікролегування церією кальцієвими лігатурами.

Ефективність такого підходу у свій час була доведена на заводі «Дніпрспецсталь» на сталі ХВГ експортного постачання. Наслідком застосування процесу мікролегування стало зменшення сіткових утворень з третього до першого балу.

1.4 Термічна обробка цементованих сталей в газовому середовищі.

Вперше процес газової цементації був запропонований і практично застосований П. П. Аносовим ще в тридцятих роках минулого століття. Газова цементація є основним, найбільш досконалим процесом хіміко-термічної обробки як для серійного, так і для масового виробництва і має переваги в порівнянні з цементацією в твердому карбюризаторі:

- 1) значно скорочується тривалість процесу, що досягається завдяки більш швидкому прогріванню деталей (до температури, коли починається насичення вуглецем) і кращих умов контакту вуглецю з деталями;
- 2) зростає пропускна здатність устаткування, зростає продуктивність праці;
- 3) поліпшуються умови праці, з'являється можливість автоматизації управління процесом;
- 4) з'являється можливість безпосереднього гартування деталей з цементаційного нагріву.

При газовій цементації деталі знаходяться в постійному контакті з газами, що містять вуглець, які при високій температурі дисоціюють з виділенням атомарного вуглецю. До складу цементаційного газу входять: окис вуглецю (CO), граничні вуглеводні (C_nH_{2n+2}), ненасичені вуглеводні (C_nH_{2n}), азот (N_2), водень (H_2), кисень (O_2) і водяна пара. Окис вуглецю, граничні і ненасичені вуглеводні є навуглицювальними компонентами газу.

Атомарний вуглець утворюється за таких реакцій:

для окису вуглецю $2CO \leftrightarrow CO_2 + C$;

для граничних вуглеводнів (метан CH_4 , етан C_2H_6 і інші.) $C_nH_{2n+2} \leftrightarrow nC + (n + 1)H_2$;

для ненасичених вуглеводнів (метилен CH_2 , етилен C_2H_4 і інші.) $C_nH_{2n} \leftrightarrow nC + nH_2$.

Найбільший вплив на процес газової цементації надає метан, що розкладається при нагріванні вище $700^\circ C$ по реакції: $C_2H_4 + 2H_2 \rightarrow 2CH_4$.

При цьому утворюється велика кількість щільної смолистої сажі, що перешкоджає процесу цементації. Тому в складі цементаційного газу повинно бути якомога менше ненасичених вуглеводнів, а також кисню і двоокису вуглецю, що окислюють сталь.

Таблиця 1.1. – Середнє значення швидкості (мм/год) газової цементації при різних температурах.

Товщина шару, мм	Температура, °С				
	900	925	950	975	1000
До 0,5	0,45	0,55	0,75	-	-
Більше 0,5 до 1,0	0,30	0,40	0,55	0,75	0,95
Більше 1,0 до 1,5	0,20	0,30	0,40	0,55	0,75
Більше 1,5 до 2,0	0,15	0,20	0,25	0,35	0,55
Більше 2,0 до 2,5	0,12	0,15	0,20	0,25	0,40

На процес газової цементації впливає температура, склад і кількість (швидкість) газу, що подається. З підвищенням температури цементації товщина цементаційного шару значно зростає (табл. – 1.1.). Зі збільшенням витрати газу підвищується концентрація вуглецю в поверхневому шарі і збільшується товщина шару (рис. – 1.4.). Газова цементація може проводитися природним газом і штучно приготованими газовими карбюризаторами. [3]

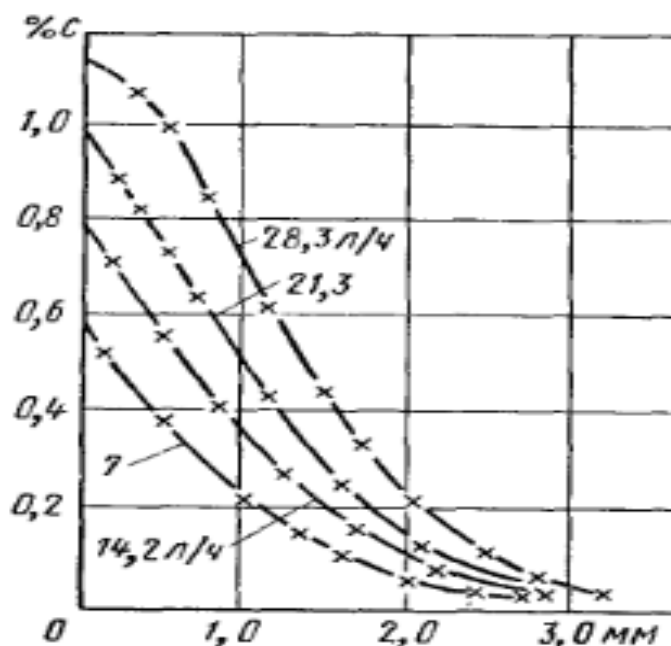


Рисунок 1.3 -Графік розташування вуглецю по товщині шару після цементації при 950⁰С при тривалості 20 годин при різних витраті газу.

1.5 Цементация стали з використанням природногогазу.

Природний газ є поширеним карбюризатором для газової цементації. Перевагами природного газу в порівнянні з іншими карбюризаторами є його активність, дешевизна, сталість хімічного складу. Природний газ містить велику кількість метану (77-97%). У зв'язку з малим вмістом інших вуглеводнів і окису вуглецю природний газ можна застосовувати для цементації як в стані поставки (з газової мережі), так і в крекірованому вигляді.

Природний газ не дозволяє регулювати ступінь насичення сталіпо вуглецевому потенціалу, тому при його використанні важко отримати задану концентрацію вуглецю в цементацийному шарі. В цьому випадку для насичення вуглецем поверхневих шарів деталей в потрібних межах в атмосфері цементацийної печі необхідно підтримувати певну концентрацію цементацийного елемента, що досягається зміною швидкості подачі (витрати) газу. Оптимальна витрата залежить

від ряду факторів (обсяг печі, склад газу і інше.). При такому методі регулювання вмісту вуглецю в шарі необхідно контролювати дозування природного газу для зменшення утворення нагару сажі на поверхні деталей.

Природний газ не можна вважати оптимальним цементаційним середовищем, так як при цементації природним газом важко забезпечити отримання високої якості цементованих деталей у зв'язку з інтенсивним сажо і коксо утворенням.

Автоматизація основних параметрів цементації (температури, тривалості процесу та активності пічної атмосфери) забезпечує отримання оптимального вмісту вуглецю в цементаційному шарі, товщину шару, мікроструктуру і твердість (і серцевини). Структура сталі після цементації представлена на рис. 1.5. [3]

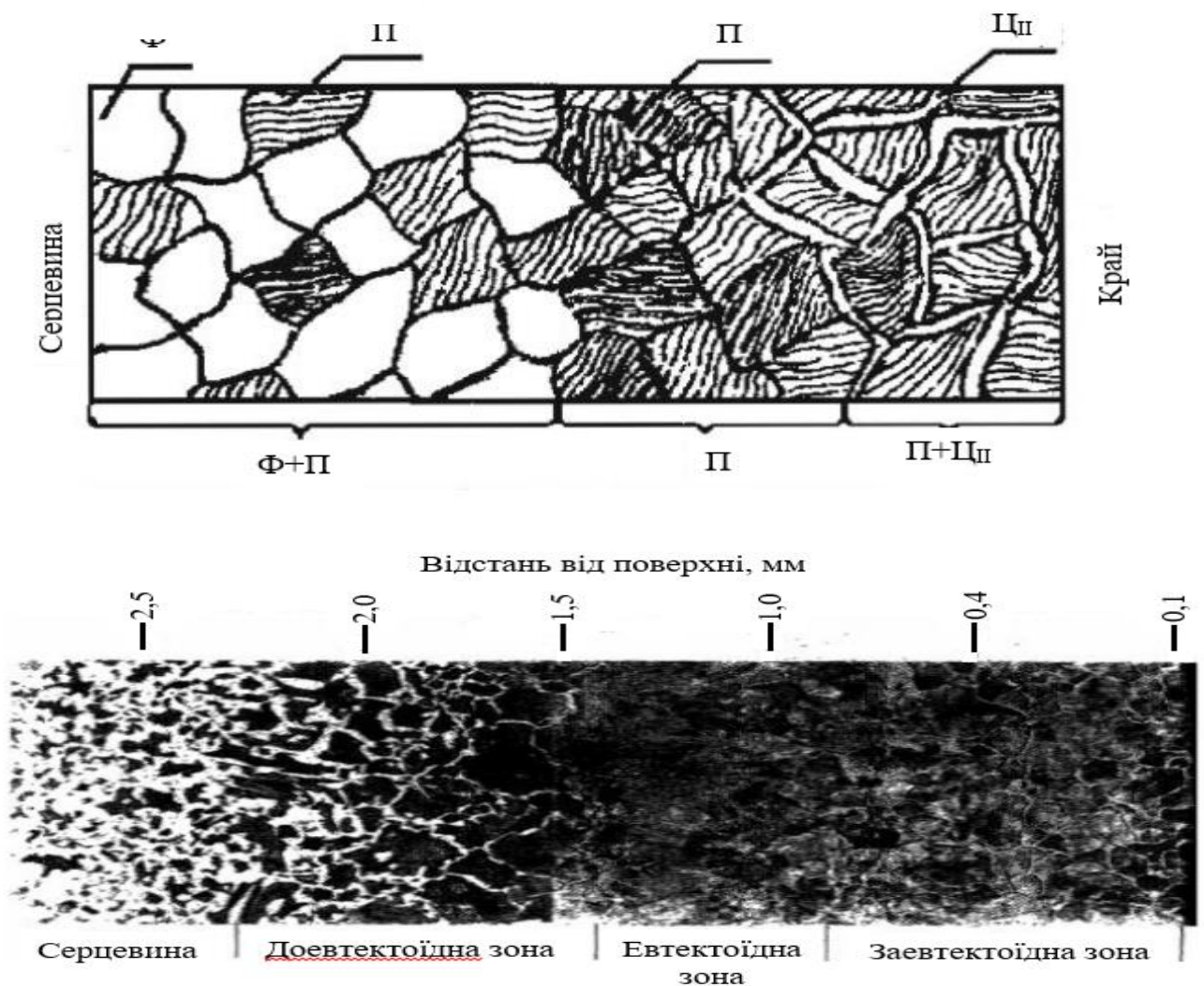


Рис. 1.5. - Структура сталі після цементації

1.6 Регулювання вуглецевого потенціалу.

Довговічність деталей машин і механізмів визначається станом поверхневих шарів, в яких концентруються найбільші напрути. Для забезпечення високих механічних властивостей необхідно точно регламентувати концентрацію вуглецю в поверхневому шарі, а також величину дифузійного шару і розподіл вуглецю по глибині шару.

Отримання заданого розподілу вуглецю в дифузійному шарі можливо лише при проведенні процесів із суворим регулюванням температури, часу і концентрації вуглецю на поверхні деталей. Можливість регулювання ступеня насичення при газовій цементації пов'язана із залежністю концентрації вуглецю на поверхні деталей від складу пічної атмосфери і стабільністю цієї залежності в часі. Отже, для отримання заданого вмісту вуглецю в поверхневому шарі деталей необхідно підтримувати в печі атмосферу певного складу.

В промисловості застосовують непрямий метод контролю, при якому проводять аналіз пічної атмосфери на вміст одного з компонентів і змінюють кількість і швидкість подачі газу.

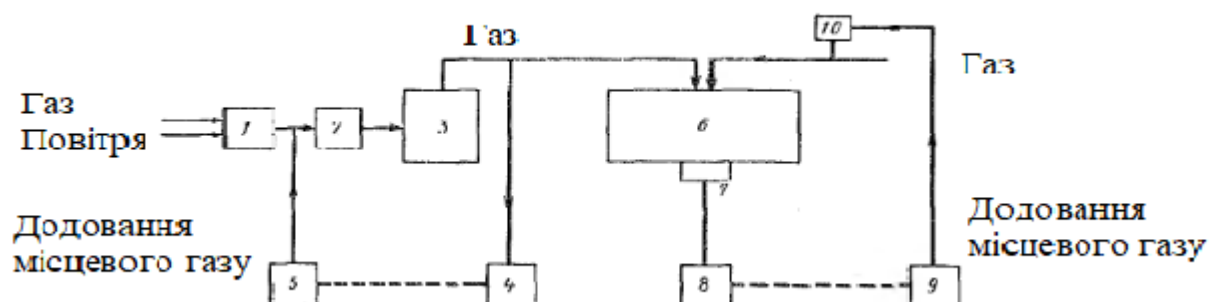
До складу контрольованих атмосфер входять в різних співвідношеннях окис вуглецю, двоокис вуглецю, азот, водяна пара, метан і водень.

Для регулювання вмісту вуглецю в стали необхідно вибрати компонент, який визначає вміст вуглецю. Зміст вуглецю в стали залежить від змісту одного з компонентів газового середовища при наступних умовах:

- 1) двохфазовому стані системи - газ і сталь в однофазному стані (регулювання концентрації вуглецю за вмістом компонентів в газовій атмосфері можливо лише при температурі, що відповідає аустенітному стану);
- 2) сталість температури і тиску;
- 3) наявності в газовій атмосфері двох постійних компонентів.

Метод регулювання складу газової атмосфери при цементації по температурі точки роси широко застосовують в промисловості, так як він забезпечує високу

точність і надійність. Схема регулювання вуглецевого потенціалу в процесі насичення (при цементації) приведена на рис. 1.5.



1 - регулятор співвідношення; 2 - змішувач; 3 - ендотермічний генератор; 4 - газоаналізатор (по H_2O); 5 - виконавчий механізм; 6 - піч; 7 - газовідбірник; 8 - газоаналізатор (по H_2O або CO_2); 9 - виконавчий механізм; 10 – клапан.

Рисунок - 1.5. Схема автоматичного регулювання складу пічної атмосфери на заданий вуглецевий потенціал в процесах насичення (при цементації).

Для створення заданого вуглецевого потенціалу пічної атмосфери необхідні:

- 1) сталість складу і витрати газу, що подається в піч;
- 2) контроль стану трубопроводів;
- 3) коригування складу газового середовища при зміні розмірів деталей, їх кількості, марок оброблюваних сталей;
- 4) створення ізолюваної зони (камери) для регулювання вуглецевого потенціалу. [3]

1.7 Режим подачі карбюризатора.

Застосовують звичайний режим подачі карбюризатора.

При звичайному режимі з постійною подачею після досягнення в печі заданої температури встановлюється оптимальна витрата карбюризатора, передбачена технологічним процесом, який залежить від температури печі (чим вище

температура, тим більше повинна бути подача карбюризатора), величини цементуємої поверхні, типу, розміру і герметичності печі, виду карбюризатора та ін., тому оптимальні витрати карбюризатора визначити важко. Незначна зміна витрати карбюризатора відбивається на результатах цементації: при зниженій подачі виходить неглибокий цементований шар з недостатнім вмістом вуглецю; при підвищеній виділяється сажа (при цементації активним карбюризатором), знижується якість цементаційного шару в зв'язку з утворенням цементаційної сітки.

1.8 Гартування сталей після цементації.

В результаті тривалої витримки при високій температурі цементації відбувається перегрів, що супроводжується зростанням зерна аустеніту. Для усунення перегріву, отримання високої твердості цементаційного шару ($HRC > 63$), високих механічних властивостей серцевини і отримання в поверхневому шарі структури мартенситу деталі після цементації піддають термічній обробці.

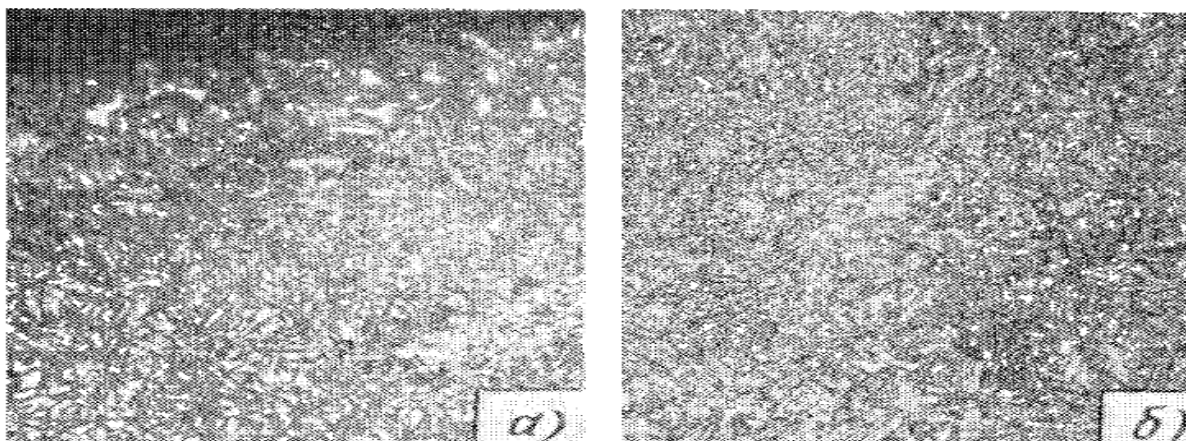
Термічною обробкою деталей після цементації є гартування від температури $780-850^{\circ}\text{C}$ з наступним відпуском при $150-200^{\circ}\text{C}$ (рис. 1.6). При такому гартуванні відбувається повна перекристалізація в поверхневому шарі і часткова в серцевині.



Рисунок 1.6 -. Схема режиму термічного оброблення сталей після цементації.

Для зменшення викривлення і отримання меншої кількості залишкового аустеніту деталі після цементації підстужують, тобто охолоджують перед гартуванням до більш низьких температур. При досягненні температури в точці $A_{Г3}$ в серцевині починається розпад аустеніту з утворенням фериту, що призводить до зниження механічних властивостей серцевини. Тому для отримання високих механічних властивостей серцевини температура підстужування не повинна бути нижче температури в точці $A_{Г3}$. Залежно від марки цементаційної сталі температура підстужування коливається в межах 780-840°C. Після гартування з підстужуванням проводиться низький відпустк (рис. 1.6). Після такого режиму обробки в цементаційному шарі легованої сталі утворюється структура мартенситу з карбідами і залишкового аустеніту, а мікроструктура серцевини - низьковуглеродний мартенсит, бейн, троостіт або сорбіт (в залежності від розміру деталі) з твердістю (в залежності від марки сталі) HRC 30-45 .

З метою зменшення при гартуванні короблення цементованих деталей, гартування проводять в гарячому маслі при температурі 160-180 С (для деталей з легованих сталей). На рис. 1.7. представлена мікроструктура сталі після гартування. [3]



а) поверхня – мартенцит, карбіди та залишковий аустеніт; б)серцевина
низьковуглецевий мартенцит.

Рисунок 1.7 –Мікроструктура цементованої і загартованої сталі

1.9 Відпуск сталей після цементациї.

Остаточною операцією термічної обробки цементованих виробів у всіх випадках є гартування та низький відпуск при $160...180^{\circ}\text{C}$, в результаті якого відбувається відпуск мартенситу і знижується напруження. Твердість поверхневого шару сталі $58...61 \text{ HRC}$ (зниження викликане залишковим аустенітом).

В результаті цементациї і наступної термічної обробки підвищується межа витривалості сталевих виробів, знижується чутливість до концентраторів напружень. Цементована сталь має високу зносостійкість і контактну міцність. На рис. 1.8. представлена мікроструктура сталі після відпуску.

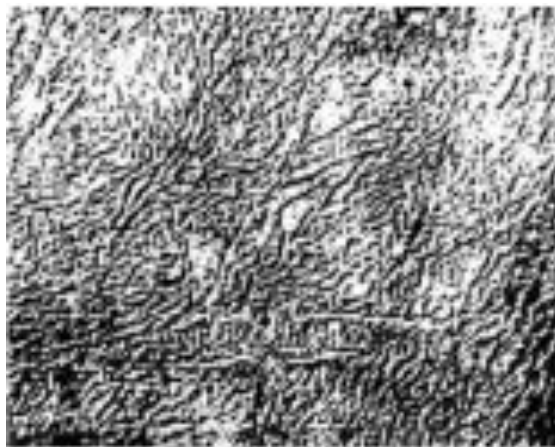


Рисунок 1.8.- Мікроструктура сталі після відпуску.

1.10 Структура цементацийних сталей.

Одним з регламентованих параметрів хіміко-термічної обробки деталей з конструкційних сталей є товщина цементованого шару. За основний метод визначення товщини цементованого шару приймається відстань від поверхні до напівперехідної зони, що має ферито-перлітну структуру з рівною кількістю фериту і перліту. Вміст вуглецю при такій структурі відповідає $0,35-0,40\%$.

При визначенні товщини цементованого шару хромонікелевих сталей слід брати до уваги ступінь легування сталі, швидкість охолодження після насичення і подальшу термічну обробку. У низьколегованих сталях після повільного охолодження від температури цементації зона, яка містить 0,35-0,40% С, визначається легко, так як структура кожної зони цементованого шару (заевтектоїдна, евтектоїдна і перехідна) виявляється досить чітко. Зона, яка містить 0,35-0,40% С, матиме ферито-перлітну структуру з рівною кількістю фериту і перліту.

На рис. 1.11. приведена мікроструктура цементованого шару низьколегованої сталі 18ХГТ після цементації і охолодження на повітрі. У цій структурі добре помітно початок появи фериту і протяжність перехідного шару, що складається з фериту і перліту. Відстань від поверхні до середини перехідного шару відповідає відстані 1,7 мм від поверхні.

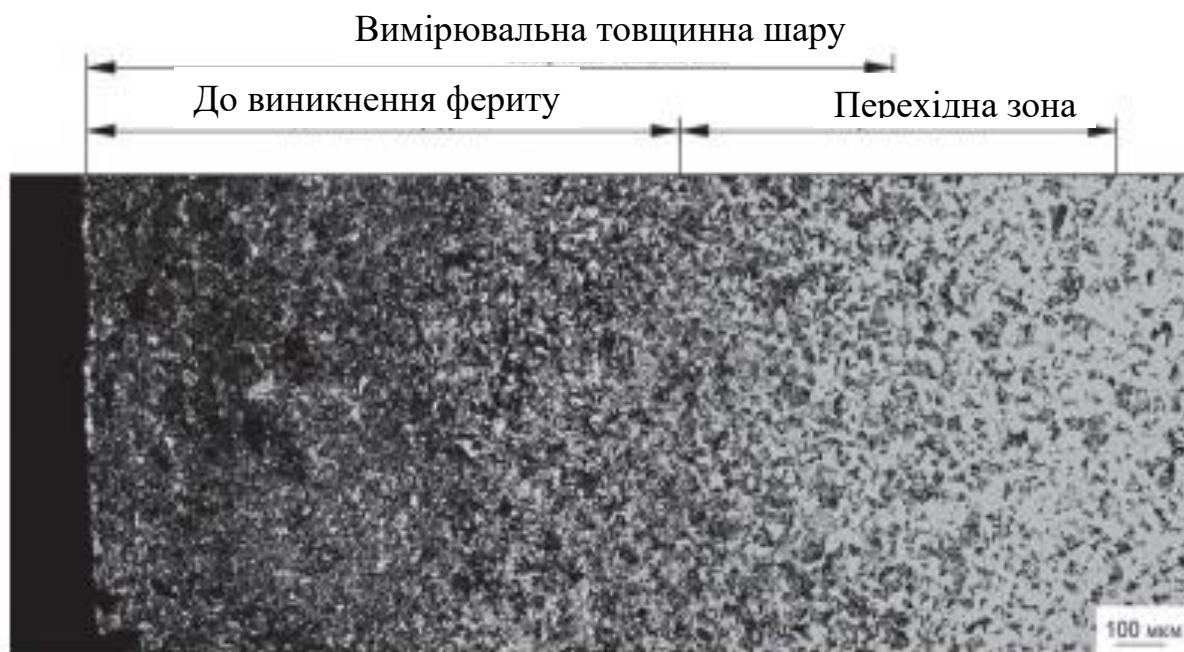


Рисунок 1.11- Мікроструктура цементованого шару з доевтектоїдним вмістом вуглецю (0,65-0,75%) після охолодження зразка зі сталі 18ХГТ на повітрі. Товщина цементованого шару 1,7 мм до 0,37% С.

У високолегованих сталях визначити межі перехідного шару по мікроструктурі практично неможливо, так як при повільному охолодженні після газової цементації виходить багат шарова структура, що складається з мартенситу, аустеніту, трооститу, сорбіту та фериту. Тому при встановленні структурних ознак для визначення товщини цементованого шару необхідно орієнтуватися на розподіл вуглецю по глибині шару, що не залежить від швидкості охолодження деталей

Ширина структурних зон та їх розташування по глибині шару сильно залежать від швидкості післяцементацийного охолодження. Реперною зоною для сталі 12ХН3А може служити темна трооститна складова, яка виявляється після травлення в 5-20% розчині азотної кислоти. При визначенні товщини цементованого шару після охолодження на повітрі даної сталі до напівперехідної зони, що містить 0,35-0,4% С, необхідно від відстані до кінця темної трооститної зони відняти 0,2-0,3 мм (рис. 1.12.). Це викликано тим, що після газової цементації і охолодження на повітрі глибоко гартованих сталей трооститна область менш чітка і розташована глибше, ніж в зразках після відпуску.



Рисунок 1.12. - Мікроструктура цементованого шару сталі 12ХН3А, охолодженого після цементації на повітрі.

Схильність високолегованої сталі до формування структурної вторинної полосчатості посилює труднощі при визначенні товщини цементованого шару. Так, на відстані 1,8-2,1 мм від поверхні, відповідній заданій товщині цементованого шару, спостерігаються «язики»-полоси, щочергуються (рис. 1,13) .



Рисунок 1.13 - Мікроструктура цементованого шару сталі 12ХН3А після цементації та охолодження на повітрі.

В умовах термічного цеху товщину цементованого шару прийнято визначати по мікроструктурі, виявленої травленням в 10-20% водному розчині азотної кислоти, яка еквівалентна відстані від поверхні до границі темної зони без урахування частини перехідного шару. З огляду на експериментальність аналізу додаткова термообробка зразків не проводиться. Товщина цементованого шару визначається, як правило, на зразках-свідках, виготовлених з тієї ж хромонікелевої сталі, що і оброблювані вироби.

При використанні в якості свідків високолегованих хромонікелевих сталей неможливо уникнути підгартування зразків в процесі післяцементацийного охолодження, що призводить до похибки у визначенні товщини шару після цементації.

З рис. 1.14 видно, що товщина цементованого шару до напівперехідної зони зразків зі сталі 12ХН3А, що визначається за змістом вуглецю 0,35-0,40% складає 1,55-1,70 мм. Ефективна товщина цементованого шару до напівперехідної зони (рис.

1.12) визначається за величиною твердості до 50 HRC, становить для цієї сталі 1,6-1,70 мм., що відповідає результатам спектрального аналізу (див. рис. 1.14). Отже, результати визначення товщини цементованого шару до напівперехідної зони в цехових умовах на зразках зі сталі 12ХН3А є завищеними на 0,2-0,3 мм

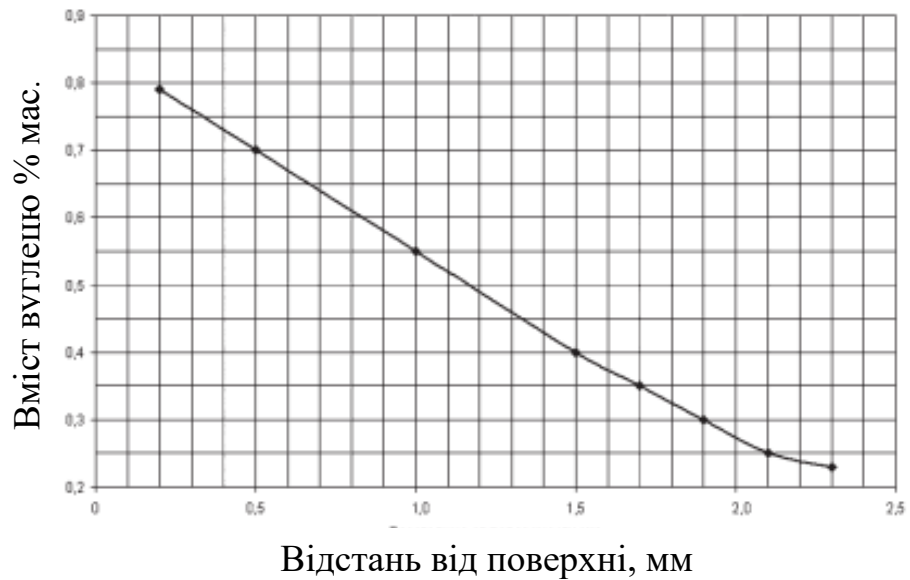


Рис.-1.14. Розподіл вуглецю в цементній сталі 12ХН3А.

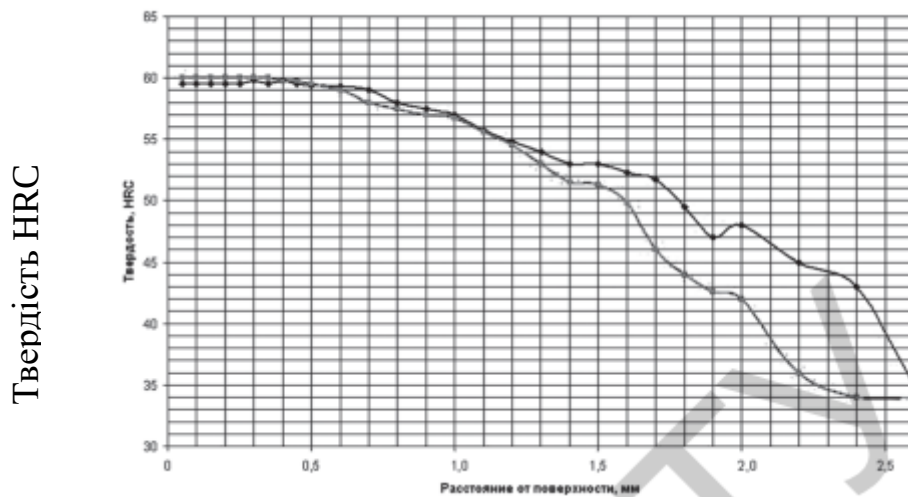


Рисунок 1.15 - Розподіл товщини цементованих шарів зразків в сталі 12ХН3А.

Товщина цементованого шару в цехових умовах, що визначається після цементациї за зразками-свідкам зі сталі 12ХНЗА, в деяких випадках буває завищеною на 0,20-0,35 мм. Причина похибки у визначенні товщини цементацийного шару сталі 12ХНЗА полягає в підвищеному вмісті нікелю, схильному до підкалювання на повітрі. При наявності підкалювання темна зона поширюється на повну глибину шару і у визначенні товщини цементованого шару до напівперехідної зони вноситься похибка, що збільшує дійсну величину шару. [3,4]

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали для дослідження.

Для цементації використовуються сталі із вмістом вуглецю від 0,1 - 0,2%. В дипломній роботі розглянуті наступні марки сталей для цементації: 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А. Хімічний склад даних марок сталей наведено в таблиці – 2.1, механічні властивості наведені в таблиці 2.2, температура критичних точок наведена в таблиці 2.3.

Таблиця: 2.1 - Хімічний склад сталей 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А.

Матеріал	Масова частка хімічних елементів								
	C	Si	Mn	Cr	Ti	Ni	S	P	Cu
						Не більше			
18ХГТ	0,17- 0,23	0,13- 0,37	0,80- 1,1	0,90- 1,20	0,03- 0,09	0,3	0,035	0,035	0,3
30ХГСА	0,28- 0,34	0,9- 1,2	0,80- 1,10	0,80- 1,10	-	0,3	0,025	0,025	0,3
12ХН3А	0,9- 0,16	0,17- 0,37	0,30- 0,60	0,60- 0,90	-	2,75- 3,15	0,025	0,025	0,3

Таблиця: 2.2 – Механічні властивості сталей 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А після рекомендованого режиму термічного оброблення.

Сталь	Механічні властивості						
	Режим термічної обробки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	HB (HRC _e)
18ХГТ	Цементация 920-950 ⁰ С, повітря, гартування 820-860 ⁰ С масло, відпуск 180-200 ⁰ С	1180	930	10	50	78	Серцевина 341 поверхня (53-63)
30ХГСА	Цементация 920-950 ⁰ С, повітря, гартування 860-880 ⁰ С масло, відпуск 200-250 ⁰ С	1515	1120	42	8	-	Серцевина 300 поверхня (55-64)
12ХН3А	Цементация 920-950 ⁰ С, повітря, гартування 800-820 ⁰ С масло, відпуск 160-200 ⁰ С	980	830	12	55	118	Серцевина 303 поверхня (59-64)

Таблиця 3.2 – Критичні точки сталей 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А.

Сталь	Температура критичних точок				
	A _{c1}	A _{r1}	A _{c3} (A _{c_m})	A _{r3} (A _{r_{c_m}})	M _n
18ХГТ	740	650	825	730	360
30ХГСА	760	670	830	705	352
12ХН3А	715	659	773	726	380

Товщину цементацийного шару контролюють на зразках (свідках), які обробляють разом з деталями. Зразки діаметром 8-10 мм виготовляють з каліброваної сталі 10 або 15; сталь повинна бути нормалізована при температурі 880⁰С з витримкою 30хв. За 1 годину до закінчення цементації виймають перший зразок, а перед вивантаженням деталей з печі - другий зразок. Товщину цементацийного шару визначають наступним чином. Вийнявши зразок, його піддають гартуванню у воді, ламають і нагрівають. Коли серцевина стане яскраво-

коричневого кольору, а цементацийний шар блакитного, зразок охолоджують у воді. Також виконується травлення зламу зразка загостреному на верстаті, у 20%розчині азотної кислоти. Товщина шару визначається за допомогою лупи Бринелля. Даний метод контролю проводиться безпосередньо на термічній ділянці термічного цеху.

Мікроструктура - це структура, яка визначається за допомогою металографічних мікроскопів. Цей аналіз дозволяє визначити наявність, кількість і форму структурних складових сплаву.

Для більш точного контролю товщини цементацийного шару використовують мікроскопічний метод контролю. Цементований шар має змінну концентрацію вуглецю по товщині, спадаючи від поверхні до серцевини деталі (рис.7.2). У зв'язку з цим в структурі цементованого шару можна розрізнити (від поверхні до серцевини) три зони: заевтектоїдну, що складається з перліту і вторинного цементиту, що утворює сітку по колишньому зерні аустеніту; евтектоїдну, що складається з пластинчастого перліту; доевтектоїдної - з перліту і фериту. Кількість фериту в цій зоні невідомо зростає.[4, 5, 6, 7, 8]

2.2 Підготовка зразків після цементації для контролю товщини цементацийного шару мікроскопічним методом контролю.

Мікроскопічний аналіз будови металів дозволяє спостерігати безпосередньо їх будову при збільшенні до 2000 разів. Зазвичай користуються збільшенням від 100 до 800 разів. Підготовка мікрошліфа: обробка поверхні проводиться послідовно трьома колами: грубозернистим електрокорундовим, дрібнозернистим електрокорундовим з вулканитовою зв'язкою і повстяним або фетровим, покритим пастою ГОІ на половині кола по ширині. Якщо відсутнє дрібнозернисте коло, то тонку шліфовку проводять за допомогою шкірки вручну. При переході від одного кола на інший напрям обробки змінюють на 90°. При цьому легше виводяться риси від попереднього кола. При поліруванні пастою ГОІ її залишки знімаються чистою фетровою ганчіркою.

Підготовлена поверхня шліфа знежирюється ватним тампоном, змоченим етиловим спиртом.

Травлення проводять найчастіше 4% розчином азотної кислоти в спирті. Для кращого виявлення мікроструктури, процес полірування і травлення зазвичай повторюють кілька разів.

Підготовлений таким чином шліф можна вивчати за допомогою оптичного мікроскопа. [9]

2.3 Устрій електронно просвідчуючого мікроскопу ПЕМ-100

Мікроскоп є стаціонарним лабораторним приладом багатоцільового призначення. Він призначений для проведення дослідженні мікроструктури і фазового складу об'єктів. За допомогою мікроскопа можливо виконувати візуальне спостереження і фотографування зображення об'єкта в широкому діапазоні збільшень, отримувати дифракційні картини від об'єктів.

Мікроскоп може працювати в наступних режимах: малих збільшень; великих збільшень в основному або контрастному режимах роботи; мікродифракції в основному або контрастному режимах роботи.

Мікроскоп призначений для роботи в приміщеннях з кондиціонованим або частково кондиціонованим повітрям при температурі $(20 \pm 5) ^\circ \text{C}$ і відносній вологості $(65 \pm 15)\%$ при температурі $(20 \pm 5) ^\circ \text{C}$. Напруга живильної мережі - однофазне 220 V, частота 50 Hz. Якість електричної енергії по ГОСТ 13109-97.

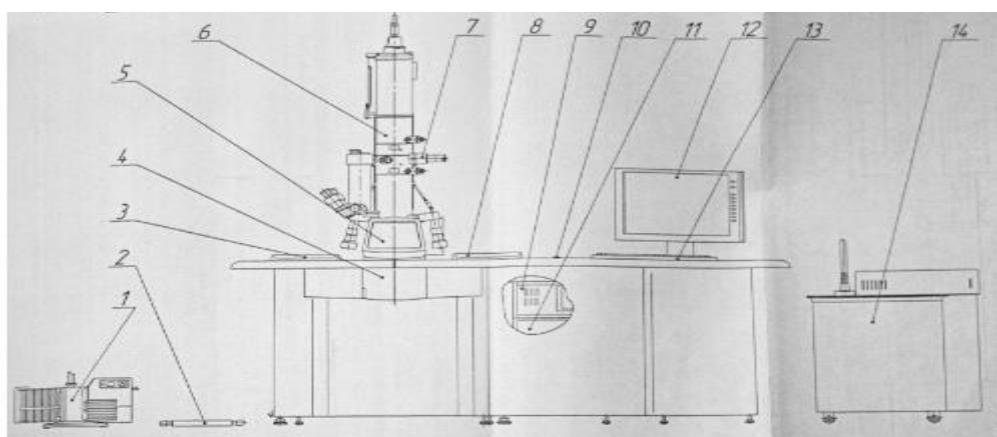


Рисунок 2.1 - Устрій електронно просвідчуючого мікроскопу ПЕМ-100.

Електронний мікроскоп (рисунок 2.1) являє собою складний електронно-оптичний прилад, що включає в себе електронно-оптичну систему (колону), вакуумну систему, систему електроживлення і систему охолодження. Досліджуваний об'єкт встановлюється в об'єктодержатель 7 і вводиться в колону 6 через шлюз.

Зображення формується на екрані мікроскопа в тубусі 5 і може бути зареєстровано на фотоплівці в фотокамері 4.

Управління всіма режимами мікроскопа здійснюється за допомогою промислового комп'ютера «Advantech» 9, пультів управління 3, 8, маніпулятора типу «миша» 10 і клавіатури 13. Програма управління відображається на моніторі 12.

Вакуумна система призначена для створення робочого вакууму у колоні і розташовується в основному стенді мікроскопа. Поза стендом розташовується форвакуумний насос 1, форвакуумна лінія від якого проходить через масивні віброгасники 2. Система електроживлення складається з шафи електроніки 11 і високовольтного джерела живлення 14/ [10]

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Вплив мікролегування (легування) на вільну енергію меж поділу і морфологію
примежових фаз у сплавах на основі заліза.

В реальних сплавах межі матричної фази рідко бувають чистими. Майже завжди на них є виділення надлишкової фази (карбіди, нітриди, інтерметаліди або різні конгломерати). Багато з цих виділень може існувати у вигляді найтонших прошарків (плівок), що практично повністю «змочують» поверхні матричної фази, які сполучаються. Проте найчастіше на межах зерен доводиться спостерігати потовщені лінійні прошарки переривчастого або практично безперервного характеру, окремісфероїдизовані частинки і евтектичні (а іноді й евтектоїдні) розшарування.

Відносна вільна енергія міжфазної межі (тобто спільної межі матриці та фази виділення) в технічних сплавах менша за одиницю.

Вільна енергія межі поділу матриця-карбід (змінною енергії вздовж лінії межі часто можна знехтувати) звичайно менша за енергію межі матриця-матриця (через ефект кращого «припасовування» граничних різнорозмірних атомів) і лише порівняно в окремих випадках дорівнює або навіть дещо перебільшує її.

Звідси безпосередньо випливає, що рівноважні сегрегації позитивних (гирофільних) адсорбатів повинні передусім виникати на межах поділу матриця-матриця, оскільки це здатне забезпечити системі більший термодинамічний вигравш порівняно з тим випадком, коли адсорбати накопичуються на спільній межі матриця-фаза виділення.

Наведена обставина дає змогу в багатьох випадках нехтувати змінною вільної енергії γ^i на межах різнойменних фаз і як домінанту розглядати зміну зеромежової енергії γ^{if} . Такий підхід виявився виправданим для розгляду особливостей впливу різних за адсорбційною активністю елементів на відносну міжфазну енергію і морфологію примежових виділень другої фази в металевих системах на основі заліза.

Як приклад у таблицях 3.1-3.4 наведено вміст різних легувальних імікролегувальних добавок у вуглецеву стальі значення відносної міжфазної енергії для меж поділу карбід-металева матриця, що відрізняються за типом матричної фази. Згідно з цими даними (табл. 3.1) до елементів, що підвищують величину відносної міжфазової енергії меж поділу карбід-аустеніт (γ^{AK}/γ^{AA}) належать В, О, Р, W, Мо, V, Ti, Al, Cu, і Si. Підвищення величини вказаного відношення, мабуть (як впливає з наведених вище міркувань), пов'язано з пониженим цими елементами зерномежової енергії аустенітних зерен, що узгоджується з незначною розчинністю всіх перелічених елементів у аустеніті. Але розчинність елемента в матричній фазі, з певними застереженнями, може розглядатися як критерій його адсорбційної активності на межах зерен. Отже, всі дані в сукупності можуть слугувати підставою припускати прояв позитивної поверхневої активності вказаних вище елементів на межах зерен аустеніту.

Таблиця 3.1 - Вплив легувальних елементів на величину двогранного кута і відношення поверхневих енергій на межах карбід-аустеніт, аустеніт-аустеніт (γ^{AK}/γ^{AA}) за температури 730°C.

Легувальний елемент, %	Двогранний кут Q^0	γ^{AK}/γ^{AA}	Легувальний елемент, %	Двогранний кут Q^0	γ^{AK}/γ^{AA}
Mn – 1,19	15-30	0,51	P – 0,08	~ 75	0,63
Cr – 2,00	25-30	0,51	O – 0,095	~ 90	0,70
Ni – 4,40	15-30	0,51	Cu – 0,83	~ 60	0,58
B – 0,02	~ 75	0,63	V – 0,22	~ 105	0,82
Al – 0,89	~ 105	0,82	W – 1,58	~ 45	0,54
Mo – 0,72	~ 120	1,00	Ti – 0,28	~ 90	0,70
Pt – 0,60	15-30	0,51	Si – 1,00	~ 60	0,58

Таблиця 3.2 - Вплив легувальних елементів на величину двогранного кута і відношення поверхневих енергій на межах карбід-аустеніт, аустеніт-аустеніт (γ^{AK}/γ^{AA}) за температури 500⁰С.

Легувальний елемент, %	Двогранний кут Q^0	γ^{AK}/γ^{AA}	Легувальний елемент, %	Двогранний кут Q^0	γ^{AK}/γ^{AA}
Mn – 1,19	~ 90	0,70	P – 0,08	~45	0,45
Cr – 2,00	15 – 30	0,51	O – 0,095	~105	0,82
Ni – 4,40	~ 45	0,54	Cu – 0,83	~45	0,54
B – 0,02	0 – 15	0,50	V – 0,22	15 – 30	0,51
Al – 0,89	0 – 15	0,50	W – 1,58	~75	0,63
Mo – 0,72	~90	0,70	Ti – 0,28	~30	0,52
			Si – 1,00	0 – 15	0,50

Таблиця 3.3 - Вплив легувальних елементів на величину двогранного кута і відношення поверхневих енергій на межах ферит-аустеніт, аустеніт-аустеніт (γ^{FA}/γ^{AA}) за температури ,730⁰С.

Легувальний елемент, %	Ni	W	Cu	B	Mn	Mo	Cr	Al	Si
Двогранний кут Q^0	43	67	55	74	60	71	96	84	75
γ^{FA}/γ^{AA}	0,53	0,60	0,57	0,63	0,58	0,62	0, 61	0,68	0,63

Таблиця 3.4 - Вплив легувальних елементів на величину двогранного кута і відношення поверхневих енергій на межах карбід-матриця, (нікелевий твердий розчин) і матриця-матриця ($\gamma^{\text{МК}}/\gamma^{\text{ММ}}$) за температури 730⁰С.

Легувальний елемент, %	Двогранний кут Q^0	$\gamma_{\text{ФА}}/\gamma_{\text{АА}}$
Мішметал(Ce+Nd+Pr) – 0,08	~ 120	1,000
B – 0,01	~ 100	0,780
Zr – 0,01	~ 90	0,700
Al – 1,80	20-30	В середн. 0,513
Nd – 1,12	15-40	В середн. 0,515
Ti – 1,90	15-60	В середн. 0,530
Fe+Cr+Mo+W – (35-43)	0-15	~ 0,500

До елементів, що знижують відносну міжфазну енергію аустенітно-карбідних меж належать Pt, Ni, Mn і Cr. Отже, можна з певною упевненістю припустити у цих елементів (використовуючи ту саму схему міркувань) здатність проявляти негативну поверхневу активність на межах поділу аустеніт-аустеніт, що спричиняє (внаслідок збільшення міжзернової вільної енергії) певну тенденцію до перерозподілу будь-якого з перерахованих елементів у напрямі «відтоку» надлишку елемента, що утворився із певних причин, на міжзеренній межі в матриці. Підвищена розчинність цих елементів в аустеніті й деякі інші ознаки також свідчать на користь зробленого припущення.

Дані, наведені в таблиці 3.2, дають змогу стверджувати, що відносно фериту поверхневими елементами, що знижують вільну енергію феритних зерен, які контактують, є O, W, Mo, Ni, Mn, P, Cu і Ti. Елементи Al, V, Cr і Si, які добре розчиняються у α -Fe і знижують величину відповідної відносної міжфазної енергії - $\gamma^{\text{ФК}}/\gamma^{\text{ФФ}}$ (переважно, мабуть, завдяки підвищенню енергії меж поділу ферит-ферит), повинні, на противагу першій групі елементів, проявляти якоюсь мірою негативну активність на межах зерен феритної матриці.

З іншого боку, аналізуючи данні табл. 3.3, важко помітити скільки-небудь помітний вплив всієї групи розглянутих легувальних елементів на величину двогранного кута і відношення поверхневих енергій меж аустеніт-ферит і аустеніт-аустеніт, що свідчить про гірше кристалографічне сполучення (гірший кристалогіометричний зв'язок) довільних міжфазних меж ферит-аустеніт порівняно з межами цементит-аустеніт.

Отже, резюмуючи вище наведене, можна вважати, що легувальні (мікролегувальні) елементи, що сповільнюють вільну енергію на межах аустеніт-аустеніт (а також ферит-ферит), спричиняють розрив, коалесценцію, а в деяких випадках і помітну сфероїдизацію карбідної сітки, яка виникає на межах матричної фази (звичайно за умови, що відносна міжфазна енергія у разі такого зменшення міжзеренної енергії обов'язково зростає).

Поверхнево-активні елементи, як бор та церій та інші (див. нижче), здатні зруйнувати і сфероїдизувати не лише проміжові виділення надлишкової фази у вигляді сітки, але і розгалужені евтектичні прошарки по межах зерен.

Підвищений рівень дефективності структури, з одного боку, сприяє прискоренню дифузійного пересичення компонентів вторинних фаз у процесі сфероїдизувального відпалу, а з іншого боку – сприяє рівномірному розподілу другої фази в об'ємі матриці навіть в умовах уповільненого охолодження сплавів від температур однофазного стану. Остання обставина також сприяє усуненню приміжової сітки, оскільки товщина міжзеренних прошарків у такому разі виявляється суттєво меншою, ніж зазвичай.

Зазначено, що елементи збільшують відносну міжфазну енергію, насамперед через підвищення вільної енергії межі поділу матриця-фаза виділення, створюють додатковий стимул до сфероїдизації скупчення пластинчастих частинок (наприклад, карбідних пластинок у складі перліту) під час відпуску сталей, оскільки скорочення у такому разі загальної протяжності таких міжфазних меж забезпечує системі помітний термодинамічний виграш.

Розглянуті вище особливості впливу елементів на різні за природою межі зерен мають надзвичайно важливе значення для отримання в сталях необхідних

механічних характеристик. Зважаючи на викладені уявлення, особливе зацікавлення викликає питання оптимального мікролегування сталей рідкісними і рідкоземельними поверхнево-активними елементами. Перш ніж висловити остаточну думку з цього питання, розглянемо дещо детальніше вплив різних легувальних елементів (зокрема і деяких із згаданих раніше) на відносну міжфазну енергію і пов'язану з нею морфологію примежових виділень у сплавах.

Дослідження стабільної структури показало, що лише введення малих добавок бору, цирконію імішметалу викликає збільшення міжфазної енергії меж надлишкова фаза--нікелевий твердий розчин. Це приводить до розподілу примежових виділень у вигляді окремих частинок сфероїдальної форми, тобто забезпечує досягнення, як показано нижче, найсприятливіших у для багатьох властивостей сталей морфології примежових фаз.

Вирішення питання про оптимальне мікролегування сплавів додаванням таких елементів, як бор і церій є формування стабільної сфероїдизованої форми карбідів замість примежових прошарків сіткового типу.

Для аналізу мікроструктури використовувалися зразки у вигляді шайб. Травлення мікрошліфів здійснювали в реактиві Марбллі, а металографічний аналіз проводили з використанням імерсійної оптики.

Аналіз мікроструктури дав змогу встановити деякі морфологічні особливості, які визначаються характером додаткового (зокрема комплексного) легування сплаву бором і церієм.

Особливо цікавими в цьому аспекті виявилися плавки з церієм. Після введення в сплав 0,002 % церію стійкою формою карбінних виділень виявилася безперервна карбідна сітка (рис. 3.1, а), що оточує великі зерна матриці, по перетину яких помітна велика кількість дрібних частинок γ' -фази, що виділилася. Збільшення кількості введеного церію (до 0,05 %) привело до заміни суцільної карбідної сітки окремими короткими частково сфероїдизованими прошарками (рис 3.1 , а)

Найефективнішим виявилися добавки церію у кількостях 0,10 і 0,20 % (рис. 3.2, в і г). У цьому випадку по межах матриці сплаву спостерігаються ланцюжки сильно сфероїдизованих карбідних частинок.



а



б



в



г

а – 0,002% (мас.) церію; б -0,50% (мас.) церію; в – 0,100% (мас.) церію; г- 0,200% (мас.) церію.

Рисунок 3.1 – Примежові виділення карбідів на межах зерен в сталі легованій церієм.

Аналогічні результати отримано і після введення бору. Добавка в сплав 0,01% бору зберегла характер вихідної структури: на межах зерен основної фази можна спостерігати суцільну карбідну сітку (рис. 3.2, а). Збільшення частки легувальної добавки до 0,04 % запобігло утворенню стійкої примежової сітки, замінивши останню окремими сильно сфероїдизованими частинками карбиду (рис. 3.2, б). Подальше підвищення кількості бору (до 0,02 %) не привело до суттєвих змін у формі карбідних виділень (рис. 3.2, в).

Вплив малих добавок як церію, так і бору на характер примежового розподілу карбідної фази можна пояснити з позиції уявлень про внутрішню абсорбацію легувальних елементів. Обидва елементи практично нерозчинні в залізній матриці, і, ймовірно, характеризуються високою позитивною адсорбційною активністю відносно меж матричної фази. Можна вважати, що великий діаметр атомів церію (3,64 кХ) і малий — атомів бору (1,7 кХ), мабуть, найсприятливіший для зняття локальних пружних деформацій у перехідній міжкристалічній зоні, що з'єднує сусідні зерна матриці.



а



б



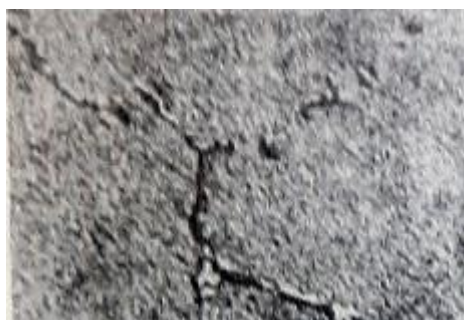
в

а – 0,01% (мас.) бору; б -0,04 % (мас.) бору; в – 0,20% (мас.) бору.

Рисунок 3.2 – Примежові виділення карбідів на межах зерен в сталі легованій бором.

Отримані результати переконують в тому, що чітко виражена тенденція до сфероїдизаціїпрошарків надлишкових карбідів спостерігається лише у разі введення церію або бору в кількостях, що не перевищують кількостей цих елементів, які зазвичай додаються у сталі.

Спільне ж введення у досліджувані сталі церіюі бору показало, що сумарний вплив цих елементів на сфероїдизацію примежових карбідів не відповідає принципу адекватності. За незначних добавок церію і бору (0,005 % Се 0,01 % В) ще відчувається деяка схильність сплавів до утворення ланцюжків слабкосфероїдизованих карбідних частинок (рис. 3.4, а) та вже після введення лігатури,що містить 0,08 % церіюі 0,08 % бору, уговорюється практично безперервна сітка (рис. 3.4, б). Подальше збільшення в сплавах вмісту цих елементів (0,2 % Се + 0,2 % В) приводить до появи евтектичних конгломератів (скоріш за все, карбоборидної евтектики (рис. 3.4, в)).



а



б



в

а – 0,010% В + 0,005% Се; б – 0,080% В + 0,080% Се; в – 0,2% В + 0,2% Се
(проценти масові)

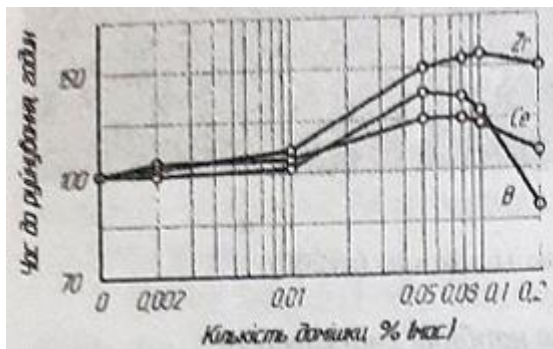
Рисунок 3.3 – Примежові виділення карбідів на межах зерен в сталі легованій одночасно бором і церієм.

Зменшення ефекту сфероїдизації уразі сумісного легування сплавів церієм і бором (за вибраних поєднаннях концентрацій), очевидно, пояснюється «конкуренцією» цих добавок, що приводить до істотного взаємного послаблення горофільних властивостей.

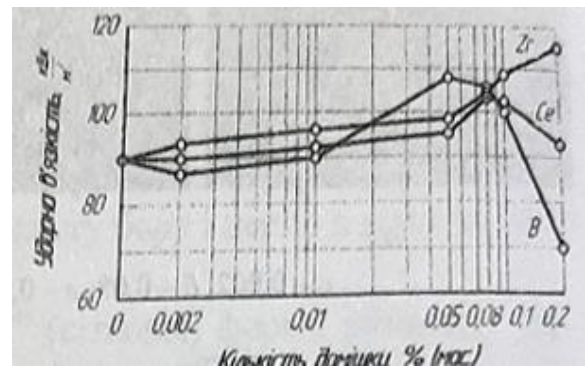
Максимальне значення ударної в'язкості відповідає таким концентраціям горофільної речовини: 0,05% бору, 0,08% церію (рис.3,3,а). Із аналізу мікроструктур зразків випливає, що вказана кількість горофільних адсорбатів забезпечили практично повну сфероїдизацію карбідних виділень (див. рис 6.1,6.2).

Графіки зміни ударної в'язкості показують, що, якщо концентрація бору і церію перевищують експериментальні значення, різко падає в'язкість.

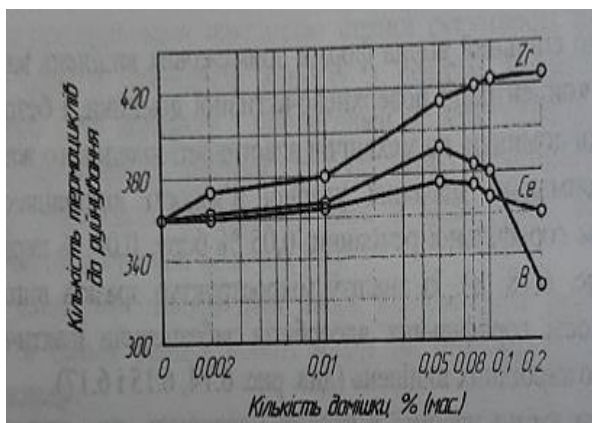
Низьке значення величини ударної в'язкості спостерігається як у разі присутності в сплаві неперервної сітки карбідних виділень, так і за підвищеної концентрації горофільного адсорбату, незважаючи на те, що ступіть сфероїдизації при межових карбідах залишатиметься при цьому максимальним.



а



б



в

Рисунок 3.4 - Графіки зміни властивостей сталей, що додатково леговані поверхнево активними домішками.

Рисунок 3.3, ілюструє залежність тривалості досліджуваного сплаву, яку оцінено часом до руйнування зразка за умов високотемпературних випробувань, від вмісту горофільного елемента. Як і слід очікувати, зразки вихідної сталі стали з низькою концентрацією поверхнево-активної домішки (0,002 %), яка не забезпечила наявності часткової сфероїдизації при межових прошарках карбідної фази в

процесістаріння, мали знижену тривалу міцність. Зразки, що містили 0,05% бору, 0,05...0,08% церію, показали максимальну тривалу міцність. Збільшення ступенямікролегування з кожним з вказаних елементів привело до зниження тривалої міцності. Особливо сильно це помітно на зразках із бором.

Зіставляючи ступінь сфероїдизаціїпримежових карбів і величину тривалоїміцності, встановили, що у випадку бору (0,05 %) найбільше значення тривалоїміцності відповідало максимуму сфероїдизації примежових виділень, а у випадку церію(0,05-0,8%) спостерігається деякий зсув у бік меншого ступенясфероїдизації.

Поверхнево-активні (горофільні) адсорбати, сприяючи сфероїдизації примежових карбідів, повинні (до певних концентрацій) збільшувати ударну в'язкість, оскільки окремі сфероїдальні частинки приводять до менших локальних напружень примежових ділянках матриці, ніж безперервна карбідна сітка.

Оптимальною структурою межі є, мабуть, деякий проміжний стан, який можна представити ланцюжком декількох відокремлених одна від одної сильно сфероїтизованих частинок надлишкової фази (карбіди, нітриди, інтерметаліди тощо). Розглянуті експериментальні данні підтверджують цей висновок.

Позитивний вплив поверхнево-активних домішок на ударну в'язкість, показники тривалої міцності можна пояснити тим, що домішки забезпечують отримання сприятливої форми вторинних виділень на межах зерен.

Кількість позитивного адсорбату (горофільної добавки), що вводиться у сталь, має бути такою, аби тільки забезпечити перетворення крихких примежових прошарків другої фази на ланцюжки сфероїдизованої та ізольованих одна від одної частинок. Наявність такого роду ланцюжків, як вже наголошено вище, відповідає оптимальному структурному стану меж матричних зерен, оскільки ізольованічастинки ланцюжка перешкоджають розвитку процесівмізерного ковзання, виконуючи роль «гальмувальних сходинок», водночас значно менше, ніж суцільна сітка виділень, блокують дислокації у разі поширення локальної деформації на суміжні зерна матриці.

Сам факт ефективної сфероїдизації у сталі примежових виділень надлишкових фаз у присутності деяких горофільних елементів ми вже неодноразово пов'язували з підвищенням відносної міжфазної енергії матриця-надлишкова фаза, першопричиною якої слугувало, за припущенням, істотне зменшення зерномежової енергії самої матриці (через сегрегацію на її межах поверхнево-активних елементів).

Розглянуто спільний вплив форми примежових виділень карбідів, яка залежить від концентрації поверхнево-активної домішки, і безпосередньо кількості самої домішки, на механічні властивості сталей. Максимальне значення ударної в'язкості відповідає таким концентраціям горофільної речовини: 0,05% бор, 0,08% церію (рис. 3.4). Із аналізу мікроструктур зразків випливає, що вказані кількості горофільних абсорбатів забезпечили фактично повну сфероїдизацію карбідних виділень (рис. 3.1, 3.2, 3.3).[11]

4 ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ

4.1 Цементация у газовому середовищі

Цементация - це хіміко-термічна обробка, при якій поверхня сталевих деталей насичується вуглецем.

Мета цементации - отримання на поверхні деталі високої твердості і зносостійкості в поєднанні з в'язкою серцевиною.

Цементации піддають сталі з низьким вмістом вуглецю 0,1 - 0,2%. Насичення поверхневого шару відбувається при нагріванні деталі до певної температури в середовищі, яке легко виділяє вуглець в активному стані. В результаті зміни хімічного складу поверхневого шару змінюється також його фазовий склад і мікроструктура. Основні параметри хіміко-термічної обробки - температура і тривалість витримки. Вони забезпечує отримання зміцненого шару однакової товщини від поверхні. На поверхні концентрація вуглецю досягає 1,1 - 1,2%. Більш високий вміст вуглецю призводить до утворення значних кількостей вторинного цементиту, який надає шару підвищену крихкість. Глибина цементованного шару залежить не тільки від температури, при якій здійснюється процес, але і від часу витримки при цій температурі.

При газовій цементации деталі нагрівають в герметичних печах в атмосфері вуглецевих газів. Для газової цементации використовують природний газ (містить до 92 - 96% метану).

Переваги цементации в газовому карбюризаторі:

Значне збільшення продуктивності за рахунок відсутності проміжної операції упаковки деталей в ящики і відсутності необхідності прогріву ящиків;

Значне скорочення трудовитрат і виробничих площ;

Є можливість регулювання ходу процесу і отримання насиченого шару необхідної глибини і «відсотковості» вуглецю;

Відсутність деформації насичуємих виробів;

Можливість проведення термообробки виробів відразу після закінчення цементації;

Можливість часткової механізації і автоматизації процесу.

Недоліки цементації в газовому карбюризаторі:

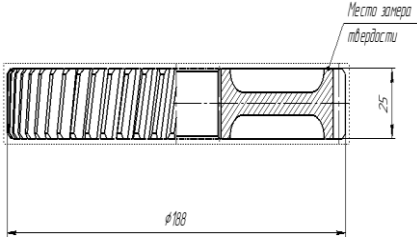
Застосовується більш складне і відповідно більш дороге устаткування.

4.2 Розробка технології термічної обробки

Технологія термічної та хіміко-термічної обробки – це складові частини технологічного процесу виробництва виробу, яка забезпечує отримання заданої структури, механічних, експлуатаційних властивостей та якість виробів.

В табл.4.1 наведено технологічну карту процесу термічної обробки валу коробки подач вертикально-фрезерувального станка зі сталі 18ХГТ.

Таблиця 4.1 – Карта технологічного процесу термічної обробки зубчастого колеса зі сталі 18ХГТ.

Ескіз виробу			Технічні вимоги			
			Матеріал	Властивості		Структура
			18ХГТ	$HRC \geq 57 \dots 62$; $\sigma_B \geq 1370 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} \geq 1150 \text{ МПа}$; $\delta \geq 11\%$; $KCU \geq 98 \text{ Дж/см}^2$		Поверхня мартенци відпуску+ карбіди, серцевина аустеніт залишковий
№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С час, хв., середовище та; його витрати, тиск	середовище, його темпера тура, тиск, склад, витрати, тривалість, хв.	Назва пристосування, кількість, шт..	Умови обробки та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вхідний контроль	Стилоскоп, мікроскоп, лінійка, штангенциркуль, твердомір (ТШ-2)				Хімічний склад, мікроструктура, стан поверхні, розміри, геометрія, твердість
2.	Цементация					
2.1	Нагрівання	СНО 8.16.5/10	$t_H = 930 \pm 10^\circ \text{C}$; $\tau_H = 120 \text{ хв.}$		8-10 шт., $M_C = 30 \text{ кг}$	Контроль температури і часу нагрівання
2.2	Витримка	СШЗ 6.6/9	$t_H = 930 \pm 10^\circ \text{C}$; $\tau_H = 360 \text{ хв}$		8-10 шт., $M_C = 30 \text{ кг}$	Контроль температури і часу витримки

2.3	Охолодження			Повітря $t=20^{\circ}\text{C}$	8-10 шт., $M_C=30\text{ кг}$	Час охолодження
3	Контроль після операційний	Мікроскоп				Глибина цементованого шару на зразках свідках
4	Гартування					
4.1	Нагрівання	СНО 8.16.5/10	$t_H=840\pm 10^{\circ}\text{C}$; $\tau_H=20\text{хв.}$		Деталі , 8-10шт., $M_C=30\text{ кг.}$	Контроль температури і часу нагрівання
4.2	Витримка	СНО 8.16.5/10	$t_H=880 \pm 10^{\circ}\text{C}$; $\tau_B=25\text{хв.}$		Деталі , 8-10ш., $M_C=30\text{кг}$	Контроль температури і часу витримки
4.3	Охолодження	Гартівний бак	$\tau_{ox}=5\text{хв.}$	Масло $t=20^{\circ}\text{C}$,	Деталі , 8-10шт., $M_C=30\text{ кг}$	Час охолодження, температура середовища
5	Контроль після операційний	ТРС-мікроскоп				Твердість, мікроструктура
6	Відпуск					
6.1	Нагрівання	СНО 7.14.5/7.5	$t_H=170\pm 10^{\circ}\text{C}$; $\tau_H=15\text{хв.}$		Деталі , 8-10ш., $M_C=30\text{ кг}$	Контроль температури і часу нагріву
6.2	Витримка	СНО 7.14.5/7.5	$t_H=170 \pm 10^{\circ}\text{C}$; $\tau_B=120\text{хв.}$	Повітря $t=20^{\circ}\text{C}$	Деталі , 8-10шт., $M_C=30\text{ кг}$	Контроль температури і часу витримки
6.3	Охолодження			Повітря $t=20^{\circ}\text{C}$	Деталі , 8-10ш., $M_C=40\text{ кг}$	Час охолодження
7	Контроль вихідний	Мікроскоп, твердомір типу ТРС, прилади для випробування механічних властивостей				Контроль мікроструктури, твердості та інших механічних властивостей на зразках-свідках, зовнішній огляд

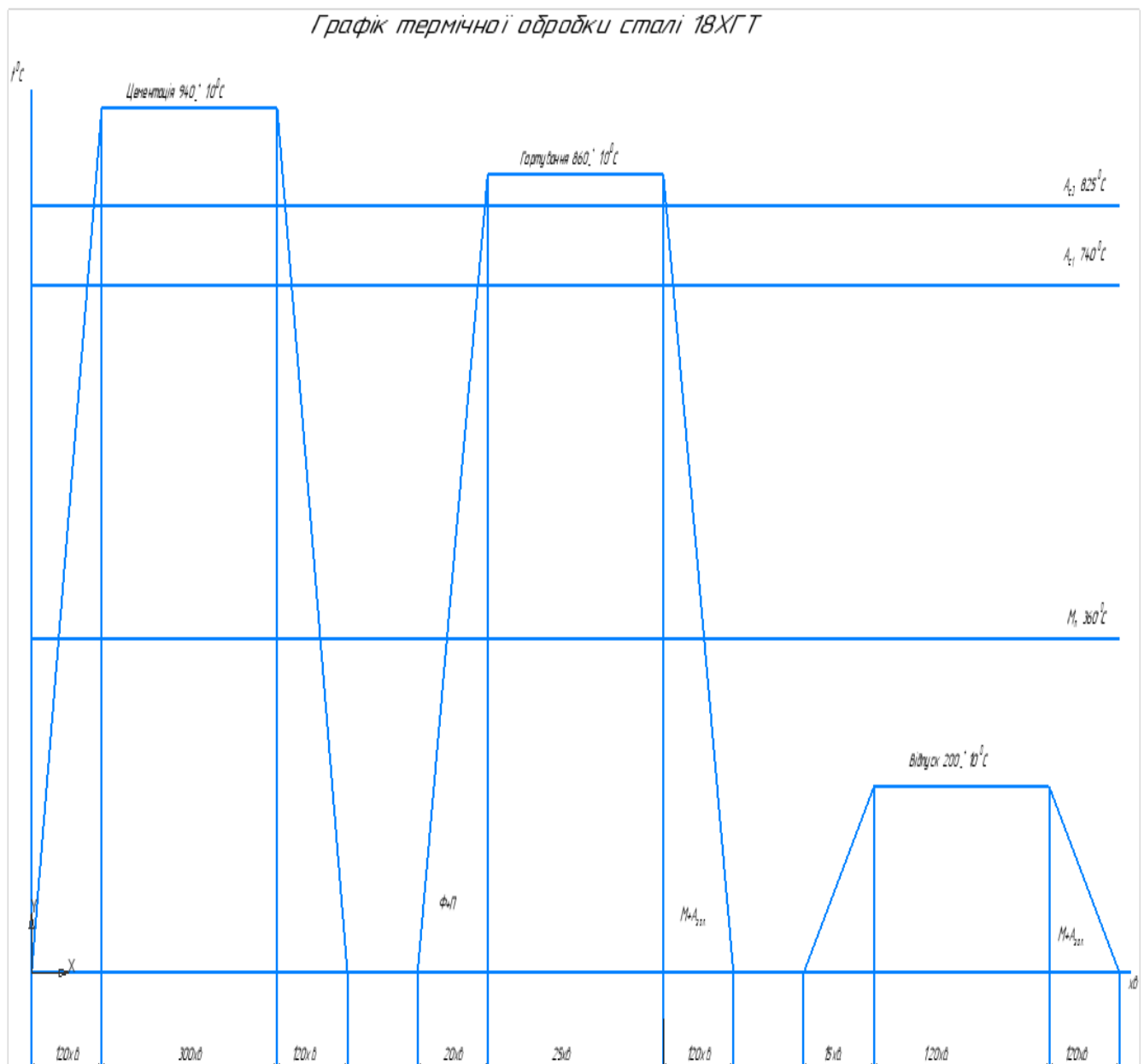


Рисунок: 4.1 - Графік термічної обробки зубчастих коліс зі сталі 18ХГТ.

4.3 Обладнання для термічної обробки.

Для цементації у газовому середовищі використовується електрична шахтна піч опору марки СШЦМ-6.6/10.

Електропіч опору шахтна цементаційна СШЦМ-6.6/10 (рис. 4.2) обладнана системою автоматичного регулювання температури на базі твердотільних безконтактних реле і мікропроцесорного терморегулятора, що задає температуру, час виходу на режим і час знаходження на режимі. Пульт управління виносний, підлоговий, з кабельним шлейфом 5м. Нагрівачі встановлюються на трубах в пазах бічних стінок печі. У кришці печі встановлений циркуляційний вентилятор. Кришка піднімається електроприводом і відводиться в сторону на поворотному кронштейні. Цементация проводиться в шахтній печі, що містить реторту з жароміцної сталі, товщиною 8 мм. Карбюризатор - рідкі вуглеводні (гас, синтин, піробензол, вайт-спірит тощо), або цементацийний газ. Тиск газу в камері ≤ 50 мм.в.ст. Ущільнення кришки муфеля - ножовий затвор с ущільнювальною набивкою. Після завантаження виробів, в муфель подається карбюризатор, відпрацьований газ збирається в верхній частині муфеля через штуцер скидання (свічка) для допалювання. До і після закінчення процесу цементації муфель продувається азотом. Витрата карбюризаторів на 1 м^2 цементованої поверхні в середньому становить: 0,35...0,4 $\text{м}^3/\text{год}$ для газоподібного карбюризатора. Надмірний тиск вимірюється мановакуумметром. Піч футерована сучасними енергозберігаючими матеріалами. В таблиці 4.2 наведено технічні характеристики печі СШЦМ-6.6/10.[12]

Таблиці 4.2 - Технічні характеристики печі СШЦМ-6.6/10.

Технічні характеристики	СШЦМ-6.6/10.
Максимальна робоча температура в	1000 ⁰ С
Номінальна потужність в Квт	3*380 В,
Розміри робочого простору в мм:	
Ширина	600
Висота	600
Габаритні розміри мм:	
Ширина	1800
Висота	200
Навантаження в клемах	50 Гц
Число фаз	3
Теплових зон	1
Технічна продуктивність кг/ч	120
Загальна вага в тонах	1,8



Рисунок 4.2 - Піч СШЦМ-6.6/10.

Піч СНО 8.16.5/10 призначена для нагріву деталей під гартування. піч

Для термічної обробки деталей широко застосовують електричні камерні печі. Типова конструкція електричної камерної печі представлена на (рис. 4.3), що має робочу температуру 600-1200⁰С. Вони мають стрічкові нагрівальні елементи 3, розташовані зигзагами у два ряди на бічних стінках, на поду та на склепінні печі. Підподові нагрівальні елементи розміщені на спеціальних алундових гребінках 5 і захищені масивною металевою жаростійкою плитою 6 з боковими ребрами і карборундовою плитою. Кінці нагрівачів виведені на задню стінку і захищені кожухом 4. [13] Технічні характеристики печей СНО 8.16.5/10 наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3– Характеристики печі СНО 8. 16.5/10

Показники	СНО 8. 16.5/10
Максимальна робоча температура в ⁰ С	1000
Номінальна потужність в Квт	60
Розміри робочого простору в мм:	
Ширина	800
Довжина	1600
Висота	500
Габаритні розміри мм:	
Ширина	1820
Довжина	2700
Висота	2500
Навантаження в клемах	80
Число фаз	3
Теплових зон	1
Технічна продуктивність кг/ч	120
Загальна вага в тонах	4,4

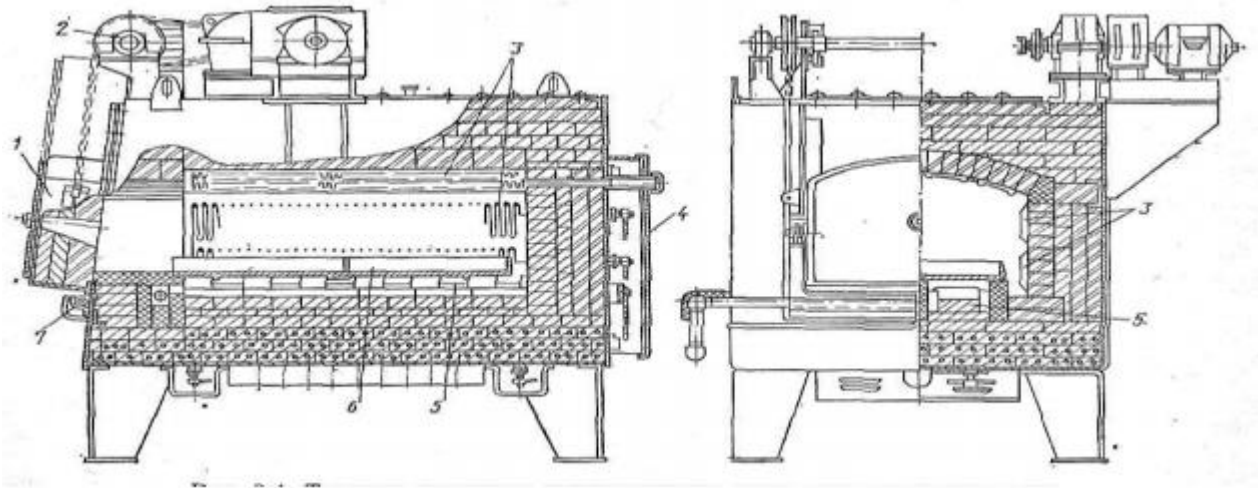


Рисунок 4.3 -Типова конструкція камерної електричної печі.

Електропіч СШЗ-6.6/10(рис 4.4) складається з наступних основних частин: нагрівальної камери 2, кришки, механізму підйому і повороту кришки з контрвантажем і пристроєм для обмеження підйому і повороту кришки 4, нагрівачів 3, та кожуху 1.

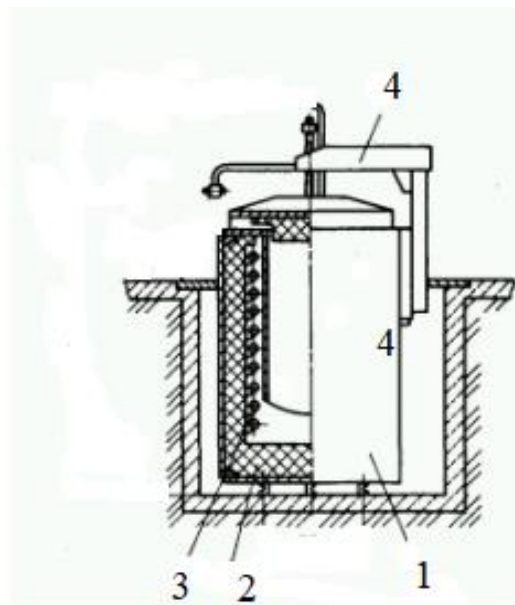


Рисунок 4.4 - Типова конструкція шахтної електричної печі.

Нагрівальна камера складається з кожуха, футерування, нагрівачів, кільця, що оберігає футеровку від руйнування і підставки під садку.

Кожух являє собою зварену металоконструкцію з листового і профільного прокату. У верхній частині кожуха розташований кільцевий жолоб.

На боковій кожуха уварена арматура виводів електро-нагрівачів і термоперетворювачів. Електро-нагрівачі печі являють собою одну електричну зону, виконані звивистими з дроту високого омичного опору і з'єднані в "зірку". Кріплення нагрівачів до вогнетривкому шару нагрівальної камери за допомогою гачків з матеріалу нагрівача.

Футеровка камери виконана двошаровою. Вогнетривкий шар викладений цеглою з муллито-корунду, теплоізоляційний - з муллито-кремнеземистого цегли.

Футеровка пода виконана з шамоту легкого. На поду встановлюється підставка для садки, виконана у вигляді ґратчастої конструкції.

У металоконструкції, розташованій в нижній частині нагрівальної камери, є отвори для природного охолодження зовнішньої поверхні поду.

Кришка печі являє собою футерований муллито-кремнеземистим у верхній частині кришки розташовані конструкції для підвішування її до ланцюгів механізму і повороту кришки, а також розташовані напрямні, призначені для запобігання її розгойдування при підйомі і повороті.

До бічної поверхні нагрівальної камери кріпиться через підшипники механізм підйому і повороту кришки. Поворот кришки здійснюється вручну, після її підйому, за допомогою спеціального важеля, на якому розташований пост керування роботою механізму.

Механізм підйому і повороту кришки являє собою металеву Г-подібну раму, виконану з профільного прокату, на горизонтальній частині якої встановлено черв'ячний редуктор, швидкохідний вал якого з'єднаний через клиноремінну передачу з електродвигуном, а на тихохідному валу встановлена зірочка, яка за допомогою ланцюгової передачі передає обертання на вали із зірочками. Зірочки з'єднані ланцюгами, один кінець яких закріплюється за допомогою регульованих підвісів до кришки, а інші кінці кріпляться до коромисла підвіски, яка

розташовується у вертикальній частині рами. На підвісці розташовані контрвантажі, виконані з бетону. Механізм підйому і повороту кришки, а також контрвантаж закриті кожухами з тонколистової сталі. Робота механізму обмежується трьома кінцевими вимикачами; на підйом, на опускання, третій кінцевий вимикач блокує включення електродвигуна механізму на опускання при розташуванні кришки не над піччю.

Силовa апаратура управління нагріванням і механізмами, а також апаратура оперативного управління і світлової сигналізації розташовані в шафі управління. [14]

Таблиця 4.4.– Характеристики печі СШО 6.6/10.

Технічні характеристики	СШО-6.6/10.
Максимальна робоча температура в	1000 ⁰ С
Номінальна потужність в Квт	53
Розміри робочого простору в мм:	
Ширина	600
Висота	600
Габаритні розміри мм:	
Ширина	1800
Висота	200
Навантаження в клемах	50 Гц
Число фаз	3
Теплових зон	1
Технічна продуктивність кг/ч	100
Загальна вага в тонах	1,8

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні структури на технологічні властивості сталей після газової цементації.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме: вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місця; вимог щодо облаштування робочих зон; вимог щодо облаштування виробничих приміщень.

б) Небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02–85 «Производственные здания», нерационального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання.

в) Можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки.

г) Небезпеки, пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методами спектрального аналізу з використанням спектрофотометрів. Основними небезпеками є: потужні електронне та оптичне випромінювання при спектральному аналізі.

д) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки, що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом (НПАОП 28.0-1.30-12) зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм.

е) Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом оптичної металографії з використанням оптичних мікроскопів зокрема: ушкодження органів зору при хибній комбінації світлофільтрів, об'єктивів та окулярів.

ж) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору.

з) Небезпеки які пов'язанні з умовами праці у надзвичайних ситуаціях зокрема при пожежах або цивільному захисті.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

- вимоги до облаштування робочих зон передбачають робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників.

- виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту, раціональне планування відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания».

б) Організація робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії передбачає виконання робіт по відпрацюванню процесів газової цементації, гартування відпуску з використанням дослідницького обладнання. В зонах проведення термічної обробки газової цементації, гартування відпуску

організують постійні робочі місця. Технологічне обладнання розміщують в захищених від атмосферних дій, добре провітрюваних приміщеннях, в яких підлога виготовляється з бетону, а стіни не повинні мати високий коефіцієнт відбиття. Найбільш сприятливе розташування обладнання на безпечній відстані одне від одного, так щоб можна було зручно і безпечно ним користуватися, обслуговувати та ремонтувати.

Для попередження негативного впливу теплового випромінення та термоопіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

в) Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ — 2015 «Правила улаштування електроустановок - споживачів» передбачається:

- Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та отримати 2-3 групу з електробезпеки.

- Періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше 3 групи) з електробезпеки.

- Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В – 6 м). Всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.

г) Заходи безпеки при проведенні аналізі хімічного складу наступними методами:

- при використанні спектрального методу використовується фізичний метод якісного та кількісного визначення атомного і молекулярного складу речовини який засновано на дослідженні її спектрів.

Основою цього методу є: введення зразків в джерело випромінювання де відбувається збудження атомів і іонів, перетворення їх світіння в спектр та його реєстрація за допомогою спектральних приладів, розшифрування отриманих спектрів по таблицям або атласам спектральних ліній елементів.

З огляду на сутність процесів основними небезпеками є шкідливий вплив електронного, електромагнітного та рентгенівського випромінювання.

Основними заходами захисту є:

Організація робіт по забезпечено електробезпеки при експлуатації спектрометра повинна відповідати вимогам, викладеним у «Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правилах техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Особи, що працюють з спектрометром, повинні мати кваліфікаційну групу з експлуатації електроустановок не нижче 3. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання необхідно - збільшити відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню); - скоротити тривалість роботи в зоні випромінювання (захист часом); - екранувати джерела випромінювання (захист екранами).

д) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів (ГОСТ 12.4.013-85), які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах згідно НПАОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом»: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання

шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028–82 «Процессобработки абразивными и эльборовыми инструментом».

е) Мікроскоп ПЄМ-100 є стаціонарним лабораторним приладом багатоцільового призначення. Він призначений для проведення дослідження мікроструктури і фазового складу об'єктів. За допомогою мікроскопа можливо виконувати візуальне спостереження і фотографування зображення об'єкта в широкому діапазоні збільшень, отримувати дифракційні картини від об'єктів.

Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи. Клас ізоляції струмоведучої мережі не менше IP 44.

5.3 .Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

з) У приміщенні (лабораторії, офісу тощо) обладнаному ПК з ВДТ, повинно відповідати ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Штучне освітлення в приміщенні обладнаному ПК з ВДТ, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 300-500 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовано люмінесцентні лампи. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в

поздовжній та поперечній площинах становить не більше ніж 200 кд/м^2 , захисний кут світильників - не менше ніж 40° . Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення у приміщенні не перевищує 20, а показник дискомфорту, відповідно 40. У приміщенні з ВДТ передбачено обмеження прямих відблисків від джерел природного та штучного освітлення та обмеження відбитих відблисків на робочих поверхнях (екран, стіл, клавіатура). Яскравість світлових поверхонь (вікна, джерела штучного освітлення тощо), що розташовані в полі зору, не перевищує 200 кд/м^2 . Яскравість відблисків на екрані ПК не перевищує 40 кд/м^2 , а яскравість стелі при застосуванні системи відбитого освітлення не перевищує 200 кд/м^2 . Захистом від прямих відблисків є зниження яскравості видимої частини джерел світла шляхом застосування спеціальних розсіювачів, відбивачів та інших світлозахисних пристроїв, а також правильне розміщення робочих місць відносно джерел світла; від відбитих відблисків – правильне розміщення предметів, використання матових поверхонь предметів у приміщенні.

Розрахуємо загальне рівномірне штучне освітлення виробничого приміщення методом світлового потоку.

Дано: довжина виробничого приміщення $A = 24 \text{ м}$, ширина $B = 20 \text{ м}$, висота $H = 4 \text{ м}$, нормативна мінімальна освітленість $E_n = 20 \text{ лк}$, світильник ЛПО, коефіцієнт запасу $k_z = 1,4$, коефіцієнт відбиття від стелі $\rho_c = 70\%$, коефіцієнт відбиття від стін $\rho_{ст} = 50\%$, коефіцієнт відбиття від підлоги $\rho_n = 30\%$

1) Розрахуємо висоту світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}$$

$$h = \frac{4}{1,4} = 2,85$$

2) Розрахуємо кількість рядів світильників N_p у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * [L/h]}$$

$$N_p = \frac{20}{(4 - 0,8)1,4} = 5$$

3) Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників $L_{\max}$:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p}$$

$$L_{\max} = \frac{20}{5} = 4$$

4) Знайдемо висоту звисання світильника h_3 від стелі

$$h_3 = H - h_p - h$$

$$h_3 = 4 - 0,8 - 2,85 = 0,34$$

5) Індекс приміщення i дорівнює:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}$$

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{24 \cdot 20}{2,85(24 + 20)} = 3,83$$

6) Визначимо сумарний світловий потік освітлюваної установки Φ_{Σ} у приміщенні Φ_{Σ}

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta},$$

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 480 \cdot 1,4}{0,61} = 242360,656$$

7) Визначимо умовну загальну кількість світильників у приміщенні N^* :

$$N^* = AB/L_{\max}^2$$

$$N^* = 480/16 = 30$$

8) Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла $\Phi_{\text{л}}^*$:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}}, \text{ лм}$$

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{242360,656}{120} = 2019,67$$

де $N_{\text{л}}$ - загальна кількість ламп у приміщенні розраховується на наступною формулою, шт.

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n$$

$$N_{\text{л}} = 30 \cdot 4 = 120$$

9) Вибираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ і знайдемо коефіцієнт m :

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}}$$

$$m = 2019,62/2180 = 0,93$$

$$\Phi_{\text{л}} = 2180$$

10) Визначимо оптимальну кількість світильників у приміщенні N :

$$N = N^* \cdot m$$

$$N = 30 \cdot 0,93 = 27,9 = 30$$

11) Розрахуємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot k_z \cdot z}, \text{ лк}$$

$$E_p = \frac{2180 \cdot 120 \cdot 0,61}{480 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 215,87 = 216$$

12) Розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}}, \text{ Вт}$$

$$P_{\Sigma} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт}$$

5.4 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки кожне підприємство має здійснити комплекс організаційних заходів, перелічених у «Правилах пожежної безпеки в Україні». До таких належать: підготувати і затвердити загальнооб'єктову інструкцію про правила пожежної безпеки та ознайомити з нею всіх працівників; скласти плани евакуації людей у разі пожежі; затвердити систему сповіщення людей про пожежу;

встановити на території та у приміщеннях відповідні знаки пожежної безпеки, таблички з вказівкою номеру телефону та порядку виклику пожежної охорони.

До технічних заходів забезпечення пожежної безпеки належить обов'язкова наявність у приміщенні засобів гасіння пожежі.

Приміщення обладнують автоматичними установками пожежосповіщення та пожежогасіння, які спрацьовують автоматично при перевищенні граничних значень температури або наявності продуктів горіння у приміщенні. Для адміністративних, побутових і громадських приміщень та споруд, залежно від їх призначення, рекомендуються димові, теплові або світлові пожежні сповіщувачі. Використовують водяні, пінні, газові, порошкові, аерозольні автоматичні пристрої пожежогасіння дренчерного або спринклерного типу.

Класпожежі (згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Захиствідпожежі. Пожежнабезпекаоб'єктівбудівництва») – пожежі твердих речовин, переважноорганічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) визначається як клас А.

Категоріяприміщення (згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначеннякатегорійприміщень, будинківтазовнішніхустановокзавибухопожежноюта пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Площа ділянки складає 1400 м². Виходячи з цього згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обирається два порошкових вогнегасника ємністю 5 літрів кожний.

5.4.2 Оповіщення населення про виникнення надзвичайних ситуацій

Надзвичайна ситуація – порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, великою пожежею, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських і матеріальних втрат (Закон України «Про цивільну оборону»).

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій полягає у своєчасному доведенні такої інформації до органів управління цивільного захисту, сил цивільного захисту, суб'єктів господарювання та населення.

Евакуація проводиться на державному, регіональному і місцевому рівні. Евакуація поділяється на обов'язкову та яка проводиться у разі виникнення загрози викиду радіоактивних та хімічно небезпечних речовин, катастрофічного затоплення місцевості, масових лісових або торф'яних пожеж, збройних конфліктів. Загальна евакуації проводяться для всіх категорій населення із зон де прогнозується або відбувається НС. Часткова евакуація проводиться для тих категорій населення які самостійно не здатні вжити цих заходів.

Укриття населення в захисних спорудах виконується у разі катастрофічно обмеженого часу на виконання заходів, щодо рятування і евакуації населення. Використовуються захисні споруди такі як: сховища, протирадіаційні укриття, швидко споруджувальні захисні споруди, захисні споруди подвійного призначення, найпростіші укриття.

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Ринок цементацийних сталей

Для виготовлення зубчастих коліс жниварок найбільш широко застосовуються цементацийні сталі, оскільки після цементації, гартування та відпуску вони мають високу твердість цементованих поверхонь та значну ударну в'язкість їх серцевини, що запобігає появі тріщин та руйнуванню, підчас дії вібраційного навантаження.

Для зубчастих передач застосовують леговані хромонікелеві марки сталей. За кордоном досить поширені сталі 3310, 3310H, E9310. В СІЛА для виготовлення зубчастих коліс застосовують сталь .

Сталь 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХНЗА використовується для виготовлення шестерень, валів, цапф, муфт та інших високонавантажених деталей, які піддаються дії значних контактних напружень та працюють при температурах до 400°C.

Зважаючи на специфіку використання сталі (цементовані авіаційні зубчаті колеса) обсяги виробництва незначні. На території України виготовленням цієї сталі займається ПАТ «Дніпроспецсталь»

ПАТ «Дніпроспецсталь» як ключовий виробник сортового прокату з легованих сталей на ринках СНД, а в Україні - безперечний лідер в даному сегменті.

Будучи найбільшою міжнародною компанією, «Дніпроспецсталь» розробляє, виробляє та реалізує продукцію з нержавіючих, швидкоріжучих, інструментальних, підшипникових, конструкційних легованих та вуглецевих сталей.

Застосовувані на заводі технології дозволяють отримувати високоякісні сталі та сплави, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості: машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні, авіакосмічній та нафтогазовидобувній галузях.

Географічне положення компанії дає значні переваги у виході на ринки СНГ та ЄС. Продукція «Дніпроспецсталі» має попит більш ніж в 60 країнах. Зберігаючи позиції лідера на внутрішньому ринку, «Дніпроспецсталь» посилює свій вплив в Росії, Європі, Америці та Азії, співпрацюючи з партнерами та дистриб'юторами в 15 країнах світу.

а) Німеччина — 20MnCr5G; б) Франція - 20MC5; в) Китай 20CrMnTi; г) Болгарія -18CrT; д) Польща – 18HGT; е) Румунія - 20TiMnCr12, 21TiMnCr12^ є) Чехія - 14223.

6.2 Техніко-економічні розрахунки

6.2.1. Характеристика продукції

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання газової технології цементації та наступного термічного оброблення зубчастих коліс зі сталей 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А.

Таблиця 6.1 - Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базовий	Новий вибір
1 Зубчасті колеса	18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А.	18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А.
2. Технологія зміцнення	Цементация у твердому карбюризаторі 920 ⁰ С; Гартування 810 ⁰ С; Індустріальне масло И-20А Відпуск 250 ⁰ С	Цементация у газовому середовищі 920 ⁰ С; Гартування 810 ⁰ С; Індустріальне масло И-20А Відпуск 250 ⁰ С
Програма випуску, шт.	300	300

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 5.1

Таблиця 6.2 – Вартість основних матеріалів при газовій цементації та наступній термічній обробці.

Найменування показника	Норма використання		Ціна, грн.	Вартість, грн.		Економія, грн.
	Базовий вибір	Новий вибір		Базовий вибір	Новий вибір	
18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А	1000 шт.	1000 шт.	55 грн./кг.	55000	55000	0
Електроенергія промислова	225 кВт*год.	180 кВт*год.	2,68 грн./кВт*год.	603	482	118
Природний газ	-	25 м ³	9,55 грн./м ³	-	239	-
Деревне вугілля	10 кг.		25 грн./кг.	280	-	-
Масло И-20А	50 л.	50 л.	250 грн./л.	12500	12500	-
Разом				68383	68221	118

Вартість купівельних комплектуючих виробів розраховується на основі норм використання й цін, з урахуванням транспортно – заготівельних витрат.

Розрахунок вартості купівельних комплектуючих виробів наводиться в таблиці 6.2.

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 6.3.

Таблиця 6.3 - Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка).

Найменування	Норма часу,	Розряд	Часова	Заробітна плата на
--------------	-------------	--------	--------	--------------------

операції	н/год.		робіт	тарифна ставка, грн	одиницю продукції (розцінка)	
	Базовий вибір	Новий вибір			Базовий вибір	Новий вибір
Цементация	10	5	5	60	600	300
Гартування	0,75	0,75	5	60	45	45
Відпуск	2,25	2,25	5	60	135	135
Усього					780	480

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:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100}, \text{ грн}$$

$$ЗД_{\text{баз.}} = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} = 780 \cdot \frac{40}{100} = 312 \text{ грн}$$

$$ЗД_{\text{нов.}} = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} = 480 \cdot \frac{40}{100} = 192 \text{ грн}$$

де K_D – 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. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100}, \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

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

$$ВС_{\text{баз.}} = (780 + 312 + 100) \cdot \left(\frac{22}{100}\right) = 263 \text{ грн.}$$

$$ВС_{\text{нов.}} = (480 + 312 + 100) \cdot \left(\frac{22}{100}\right) = 197 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

Статті витрат	Базова технологія, вартість грн.	Нова технологія вартість грн.
Сировина і основні матеріали	69043	68581
Основна заробітна плата основних робітників	780	480
додаткова заробітна плата основних робітників	312	192
Відрахування на соціальні заходи	263	197
Загальновиробничі витрати	3120	1920
Собівартість виробнича	73518	71370
Адміністративні витрати	3900	2400
Витрати на збут	1470	1427
Собівартість повна	78888	75197
Прибуток	23666	22559
Ціна оптова	102554	97756
Податок на додану вартість	20510	19551
Ціна продажу	122765	117307
Змінні витрати	71868	70877
Постійні витрати	7020	4320
Разом	579677	554134

6.2 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Розраховується економічна ефективність інноваційного проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;

- питомі показники ефективності;
- безбитковість виробництва;
- термін окупності додаткових капітальних вкладень;
- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в

інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів. Розрахунок економії витрат наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Економія витрат на виробництво.

Найменування показника	Норма використання		Ціна, грн.	Вартість, грн.		Економія, грн.
	Базовий вибір	Новий вибір		Базовий вибір	Новий вибір	
18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А	1000 шт.	1000 шт.	55 грн./кг.	55000	55000	0
Електроенергія промислова	225 кВт*год.	180 кВт*год.	2,68 грн./кВт*год.	603	482	118
Природний газ	-	25 м ³	9,55 грн./м ³	-	239	-
Деревне вугілля	10 кг.		25 грн./ кг.	280	-	-
Масло И-20А	50 л.	50 л.	250 грн./л.	12500	12500	-
Цементация	10 год.	5 год.	60 грн./год.	600	300	300
Гартування	0,75 год.	0,75 год.	60 грн./год.	45	45	0
Відпуск	2,25 год.	2,25 год.	60 грн./год.	15	15	0
Разом				69043	68581	418

$$E = C_6 \cdot K_{e,p} + C_H = 78888 \cdot 1,4 + 75197 = 35246 \text{ гр}$$

Висновок: розрахували собівартість виробництва 1000 штук зубчастих коліс у твердому карбюраторі і в газовому середовищі. В собі вартість виробництва входили наступні статті: Сировина і основні матеріали, о основна заробітна плата

,додаткова заробітна плата основних робітників основних робітників відрахування на соціальні заходи, адміністративні витрати, витрати на збут.

Заробітна платня по базовій технології за одиницю продукції склала 720грн., по новій технології виробництва 480грн.

Економічний ефект від впровадження нової технології склав 35246 грн.

ВИСНОВОК

В ході виконання дипломної роботи було досліджено цементацію зубчастих коліс виготовлених зі сталей 18ХГТ, 30ХГСА та 12ХН3А та впроваджену технологію газової цементації з використанням природного газу. Розглянуто хімічний склад, механічні властивості, температура критичних точок даних сталей.

Товщина цементованого шару в цехових умовах, що визначається після цементації за зразками-свідкам зі сталі 12ХН3А, в деяких випадках буває завищеною на 0,20-0,35 мм. Причина похибки у визначенні товщини цементаційного шару сталі 12ХН3А полягає в підвищеному вмісті нікелю, схильному до підкалювання на повітрі. При наявності підкалювання темна зона поширюється на повну глибину шару і у визначенні товщини цементованого шару до напівперехідної зони вноситься похибка, що збільшує дійсну величину шару.

Розглянуто спільний вплив форми примежових виділень карбідів, яка залежить від концентрації поверхнево-активної домішки, і безпосередньо кількості самої домішки, на механічні властивості сталей. Максимальне значення ударної в'язкості відповідає таким концентраціям горофільної речовини: 0,05% бор, 0,08% церію.

В якості прикладу приведено технологічний процес термообробки зубчастого колеса зі сталі 18ХГТ. Який складеться з цементації при температурі 950⁰С та тривалістю 300хв. охолодження на повітрі, гартування при температурі 880⁰С, витримка 45хв. охолодження в індустріальному маслі И-20 Відпуск при температурі 170⁰С витримка 140хв. охолодження на повітрі.

Також обране обладнання для проведення термічного оброблення:

Цементацийна піч СШСМ-6.6./10 для цементації деталей у газовому середовищі, піч СНО 8.16.5/10 для гартування деталей після цементації та шахтна піч типу СШО для відпуску зубчатих коліс.

ЛІТЕРАТУРА

1. 81 http://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/Detali_Mash/05.PDF
2. <http://192.162.132.48:555/elektr%20pidr/mehanizacia/teh%20meh/Dokument/Lekzia/3%20розділ/3.4.htm>
3. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – М.: Машиностроение, 1976. – 310 с
4. <http://rep.bntu.by>.
5. ГОСТ 1643-81
6. ГОСТ 4543-71
7. Марочник сталей и сплавов: Справочник / Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640с.
8. http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov
9. https://studopedia.su/6_26643_termicheskaya-obrabotka-posle-tsementatsii.html
10. <http://www.laboratorium.dp.ua/item/69>
11. З.А. Дурягіна, В. Ю Ольшецький, Ю. І. Кононенко Структурно енергетичний стан внутрішніх і зовнішніх меж поділу у металевих системах.
12. <https://bortek.ub.ua/ru/goods/view/11903467/all/cementacionnaya-pech-sshcm-6-610/>
- 13.. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов / К.Н. Соколов. – К.: Вища школа, 1984. – 328с

14<https://electro.mashinform.ru/ehlektropechi-shahtnye/jelektropech-soprotivlenija-shahtnaja-sshz-6-6-10-5-obj5194.html>