

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Фізичне матеріалознавство  
(повне найменування кафедри )

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Підвищення зносостійкості зубчастих коліс методами хіміко-термічної обробки

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

Спеціальності 132 Матеріалознавство  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Каморченко Владислав Андрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доцент Ткач Д.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Павленко Д.В.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет  
 Кафедра Фізичного матеріалознавства  
 Ступінь вищої освіти Магістр  
 Спеціальність 132 «Матеріалознавство»  
 (код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Климов О.В.

« 25 » 01 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**  
Каморченко Владислав Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Підвищення зносостійкості зубчастих коліс методами хіміко-термічної обробки

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «02» 11 2020 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) \_\_\_\_\_




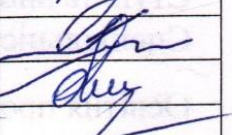
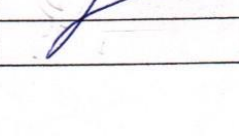
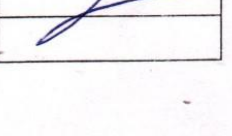


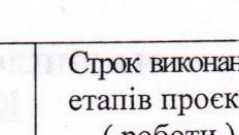
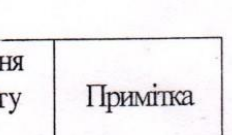
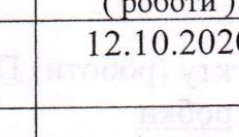
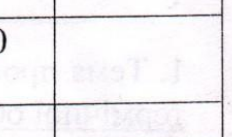
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) зразки зі сталі 12Х2Н4А, 16Х3НВФМБ (ВКС-5), 13Х3НВМ2Ф (ВКС-4), хімічний склад

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ 1 Підвищення експлуатаційних властивостей зубчастих коліс методами ХТО 2  
Розробка технології нітроцементзації зубчастих коліс 3 Аналіз впливу хімічного складу  
та хіміко-термічної обробки сталей для зубчастих коліс ГТД на їх зносостійкість 4  
 Охорона праці 5 Економічна частина Висновки

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

Види дефектів при нітроцементзації та способи їх запобігання; Графік термічного оброблення зубчастих коліс зі сталі ВКС-4; Характеристика сталей для зубчастих коліс; Хімічний склад сталей; Механічні властивості матеріалів; Вибір оптимальної глибини нітроцементованого шару; Особливості дифузійного насичення теплостійких сталей та мікроструктура шару після нітроцементзації

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Ткач Д.В.		
2	Ткач Д.В.		
3	Ткач Д.В.		
4	Нестеров О.В		
5	Круглікова В.О		
НК	Ткач Д.В		

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2020 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

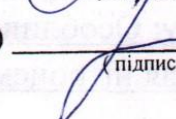
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Підвищення експлуатаційних властивостей зубчастих коліс методами ХТО	12.10.2020	
2	Розробка технології нітроцементації зубчастих коліс	18.10.2020	
3	Аналіз впливу хімічного складу та хіміко-термічної обробки сталей для зубчастих коліс ГТД на їх зносостійкість	17.11.2020	
4	Охорона праці	30.11.2020	
5	Економічна частина	12.12.2020	

Студент(ка)

  
(підпис)

Каморченко В.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Ткач Д.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: с.119, 2брис, 28табл, 26 джерел.

Метою дипломного проекту – розробка технології хіміко-термічної обробки зубчастих коліс для підвищення їх експлуатаційних властивостей.

В ході роботи були дослідженні матеріали для зубчастих коліс, а саме, хімічний склад, властивості матеріалів, вплив легувальних елементів на властивості сталей. Також розроблені режими, технології термічної обробки та карти технологічних процесів термічної обробки. Розглянута тема технічного контролю, попередження та виправлення браку обраних матеріалів. Методи підвищення експлуатаційних властивостей зубчастих коліс.

Для термічного відділення було обрано високопродуктивне обладнання типу СНЦА, СНЗА, СНОА та ін..

Були проаналізовані небезпеки, які можуть виникнути при роботі у відділенні та запропоновані заходи, щодо їх попередження.

В економічній частині дипломного проекту розраховано кількість робітників, їх заробітна плата, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, та собівартість 1т продукції.

АУСТЕНИТ, ГАРТУВАННЯ, ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ,  
МАРТЕНСИТ, ПРОГАРТОВУВАНІСТЬ, ТРОСТИТ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА,  
ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ЦЕМЕНТАЦІЯ, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Підвищення експлуатаційних властивостей зубчастих коліс методами ХТО	8
1.1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	8
1.2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення	10
1.3 Характеристика матеріалів виробів	13
2 Розробка технології нітроцементзації зубчастих коліс	18
2.1 Вибір основних та допоміжних операцій технологічного процесу	18
2.2 Вибір та розрахунки кількості обладнання	18
2.3 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	19
2.4 Вибір та розрахунки кількості обладнання	27
3 Аналіз впливу хімічного складу та хіміко-термічної обробки сталей для зубчастих коліс ГТД на їх зносостійкість	43
3.1. Дослідження нітроцементзації теплостійких сталей	43
3.2 Особливості дифузійного насичення теплостійких сталей та мікроструктура шару після нітроцементзації	48
3.3 Вибір оптимальної глибини шару нітроцементзації	50
3.4 Особливості цементзації і структури легованих сталей. вплив концентрації вуглецю на механічні властивості цементованої сталі	53
3.6 Механізм утворення, будова і властивості цементованого шару	61
3.7 Вплив вмісту вуглецю на міцність цементованої сталі	73
4 Охорона праці	79
4.1 Аналіз потенційних небезпек	79
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки устаткування, обладнання та технологічних процесів	80
4.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці	83
4.4 Заходи з пожежної безпеки	88
4.5 Заходи з цивільної оборони	91

	6
4.6 Висновки	92
5 Економічна частина	94
5.1 Розрахунок капітальних вкладень в основні фонди	94
5.2 Матеріальне забезпечення	98
5.3 Праця і заробітна плата	99
5.4 Собівартість термообробки	105
5.5 Економічне обґрунтування проектного відділення	112
Висновки	116
Список використаної літератури	117

## ВСТУП

В останні роки термічна обробка на машинобудівних підприємствах розвивається швидкими темпами. Рівень використовуваних технологічних процесів та обладнання якісно змінилися. Більш широко використовують нові технологічні процеси з автоматичним управлінням.

Актуальними нині є питання підвищення надійності та довговічності машин, приладів, установок, підвищення їх якості та ефективності роботи. Вирішення цих проблем насамперед пов'язано зі зміцненням поверхневих шарів виробів.

Змінити властивості поверхні можна різними способами: нанесенням на поверхню нового матеріалу з необхідними властивостями; зміною складу поверхневого шару металу. У другому випадку поверхневі шари металу піддають дифузійній хіміко-термічній обробці (ХТО), в результаті якої на поверхні виробу утворюється новий, відмінний від серцевини, сплав.

Хіміко-термічна обробка дозволяє отримати в поверхневому шарі виробу сплав практично будь-якого складу і, отже, забезпечити комплекс необхідних властивостей.

На машинобудівному заводі термічна обробка є одним з найважливіших ланок технологічного процесу виробництва напівфабрикатів та деталей машин. Термообробку використовують, як проміжну операцію для поліпшення технологічних властивостей металу, та як кінцеву операцію для надання металу такого комплексу механічних, фізичних та хімічних властивостей, які б забезпечували необхідні характеристики виробу. Чим відповідальніше конструкція, тим як правило більший вплив має термічно оброблений метал.

## 1 ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕТОДАМИ ХТО

Здійснення проектування відповідно до заданої програми є можливим лише на підставі номенклатури виробів, що обробляються в підрозділі, розроблених технологій термічної та хіміко-термічної обробки, розрахунку кількості обладнання, складання технології ТО (ХТО) є можливим тільки на підставі аналізу умов експлуатації, вимог до матеріалів і відповідного вибору матеріалів для кожного з виробів.

### 1.1 Характеристика та умови експлуатації нітроцементовних деталей вузлів ГТД

Типовими представниками цієї групи зубчасті колеса.

Відповідальні зубчаті колеса працюють на зношення в умовах контактних та згинаючих навантажень при температурі до 400°C. Обрання сталі для авіаційних зубчатих коліс залежить від конструкторсько-технологічних параметрів зубчатих коліс та особливо їх експлуатації. Однією з важливіших вимог до сталей для авіаційних зубчастих передач є забезпечення високої чистоти металу та дрібнозернистої структури. Для забезпечення цих вимог та високої якості виробів рекомендоване використання сталей, витоплених методами електрошлакового та вакуумного одинарного або подвійного перетопу. Для отримання в сталі після ХТО задовільної в'язкості при високих значеннях границі міцності, величина зерна повинна бути не менш 5...8 бала.

Зубчасті колеса вимагають високої точності виготовлення, тому термічну обробку бажано проводити у заневоленому стані.

Для успішного використання нітроцементовних виробів у промисловості вони в залежності від умов експлуатації повинні задовольняти ряд вимогам, тобто повинні мати високі характеристики ( границя міцності, границя текучості ) та задовільну пластичність. Величина зерна повинна бути не нижче 5...8 бала.

Сталь для зубчастих коліс повинна мати властивості матеріалу, що добре обробляється різанням. Тому особливого значення набуває вибір правильного режиму попередньої термічної обробки заготівель штампування для зубчастих коліс.

Для відповідальних зубчастих коліс, що піддають хіміко-термічній обробці (цементатії та нітроцементатії), оптимальна структура для забезпечення гарної обробки різанням являє собою пластинчастий перліт і ферит. Смужчата феритно-перлітна структура неприпустима в тих випадках, коли ширина феритних смуг перевищує 50 мкм.

Сталь не повинна бути схильна до перегріву, до надмірного насичення поверхні вуглецем при цементатії, вуглецем й азотом при нітроцементатії й мати мінімальну деформацію в процесі високотемпературних нагрівів.

Матеріал не повинен окрихчуватися в процесі експлуатації, та не має бути чутливим до надрізу, мати високу твердість та точність поверхні зубців при тривалій експлуатації.

Фотографії зубчастих коліс наведено на рисунку 1.1



Рисунок 1.1 – Види зубчастих коліс

## 1.2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення

Номенклатура-це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі, що проектується. Розглядається 3 групи однотипних за умовами експлуатації та вимогами до матеріалів виробів. Номенклатура виробів наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1- Номенклатура виробів

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм		Вимоги до матеріалу
			l	d	
1	2	3	4	5	6
Група деталей з нітроцементовних сталей					
1	2	3	4	5	6
Зубчате колесо	ВКС-4	0,44	16,9	65,5	HRC <sub>c</sub> ≥32 HRC <sub>пов</sub> ≥58
Зубчатий вінець	ВКС-4	0,76	14,2	93,75	HRC <sub>c</sub> ≥32 HRC <sub>пов</sub> ≥60
Зубчате колесо	ВКС-4	2,49	27,9	120,9	HRC <sub>c</sub> ≥31 HRC <sub>пов</sub> ≥58
Зубчате колесо	ВКС-5	42,5	114	247,15	HRC <sub>c</sub> ≥31 HRC <sub>пов</sub> ≥60

Продовження таблиці 1.1

Зубчате колесо	ВКС-5	5,79	99,6	97,5	HRC <sub>c</sub> ≥ 32 HRC <sub>пов</sub> ≥ 62
Зубчатий вінець	ВКС-5	4,9	189,9	65,2	HRC <sub>c</sub> ≥ 32 HRC <sub>пов</sub> ≥ 60
Зубчате колесо	12X2H4A	12,3	324	78,8	HRC <sub>c</sub> ≥ 32 HRC <sub>пов</sub> ≥ 62
Зубчате колесо	12X2H4A	4,9	87,6	95,6	HRC <sub>c</sub> ≥ 31 HRC <sub>пов</sub> ≥ 58
Зубчате колесо	12X2H4A	7,82	260	70,13	HRC <sub>c</sub> ≥ 32 HRC <sub>пов</sub> ≥ 60

Маршрутна технологія уявляє собою рух по цехам та дільницям заводу з вказівкою на операції, які там виконуються. Операції можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими і забезпечувати отримання різної форми, розмірів, структури в процесі виготовлення виробів. Маршрутна технологія може включати десятки та сотні операцій в залежності від матеріалу та геометрії виробу і в її формуванні приймають участь спеціалісти усіх цехів, в яких обробляється виріб. Наведемо спрощену модель схеми маршрутної технології. Схема маршрутної технології виготовлення деталей наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Схема маршрутної технології виготовлення деталей зі сплаву ВКС-4

№	Назва операції	Цех (дільниця), в якому виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів
1	Різання заготовок	Заготівельний цех. дільниця ковальською цеху	Отримання заготовки
2	Гаряче штампування	Ковальський цех	Надання необхідної форми
3	Попередня термічна обробка	Термічне відділення механічного або термічного цеху	Надання матеріалу необхідних механічних властивостей
4	Механічна обробка	Механічний цех	Надання необхідної форми розмірів виробів заданих робочим кресленням
4	Міднення	гальванічне відділення термічного цеху	Нанесення мідного покриття на поверхні, що не піддаються ХТО
5	Нітроцементация	Термічний цех	Насичення поверхні виробів вуглецем та азотом.

Продовження таблиці 1.2

6	Відпал	Термічний цех	Нагрів виробів, з метою усунення напружень, та урівноваження структури.
7	Гарт	Термічний цех	Термічна обробка, метою якої є отримання структури мартенсит
8	Обробка холодом	Термічний цех	Охолодження виробів до температур, нижчих за 0 °С, з метою зменшення кількості залишкового аустеніту
9	Відпуск	Термічний цех	Нагрів виробів з метою зменшення напружень

### 1.3 Характеристика матеріалів виробів

Вибір матеріалу повинен враховувати переваги і недоліки сплаву в залежності від діапазону температур та оптимальних функціональних характеристик.

Матеріали деталей зубчастих колес.

Для матеріалів наводяться дані про хімічний склад (таблиця 1.3), механічні властивості, рекомендовані режими термічної обробки та властивості після термічної обробки (таблиця 1.4)

Для виробів простої конфігурації, що не випробовують значних напружень, варто застосовувати вуглецеві сталі; для деталей, що зазнають навантаження, – хромонікелеві високоміцні сталі.

Для виробів складної конфігурації, для яких деформація при гартуванні небажана (наприклад, зубчасті колеса), варто застосовувати високолеговані сталі, що гартують у маслі .

Використання хромо-нікельових сталей обумовлено високою прогартованністю поряд з високою міцністю та в'язкістю серцевини, а також малою здатністю до пересичення азотом та вуглецем при нітроцементзації, і як наслідок, зниженою схильністю до поверхневих дефектів, завдяки чому сталі здатні протистояти крихкому та втомному руйнуванню.

Сталі (14ХГСН2МА), ВКС-5 (16ХЗНВФМБ), 12Х2Н4, віднесені до високоміцних цементовним та нітроцементовним сталям, які зміцнюються при термічній обробці, внаслідок утворення в серцевині мартенситу при гартуванні. Ступінь зміцнення визначається змістом вуглецю та вмістом легуючих елементів й інтенсивністю охолодження при загартуванні.

Основними легуючими елементами конструкційних сталей є хром у кількості до 1,8% (частіше 0,8-1,1%), нікель (0,5-4,5%), кремній (0,5-1,2) і марганець (0,8-1,8%). Вольфрам, молібден, ванадій, титан, бор й інші легуючі елементи не застосовують як самостійні присадки, а вводять у сталь у сполученні із хромом, нікелем і марганцем – для додаткового поліпшення властивостей. Звичайно в конструкційних сталях утримується 0,15-0,45% Мо; 0,5-1,2% W; 0,1-0,3% V; 0,06-0,12% Ti; 0,002-0,005% В. Леговані сталі застосовують не тільки для великих виробів, але й для виробів невеликого перетину, що мають складну форму. Чим вище в сталі концентрація легуючих елементів, тим вище її прогартованність.

Для досягнення високої прогартованності сталь легують такими елементами як марганцем, хром і бор, а також більше дорогими - нікелем і молібденом. Однак варто мати на увазі, що при досягненні необхідної для даного перетину прогартованності подальше збільшення в сталі легуючих елементів може не поліпшити, а, навпроти, погіршити механічні властивості сталі. При цьому підвищується поріг холодноламкості й зменшується запас в'язкості. Наприклад, збільшення вмісту в сталі хрому або марганцю до 1,0% практично не впливає

на поріг холодноламкості. Однак при більших їхніх концентраціях поріг холодноламкості підвищується. Тому вміст легуючих елементів повинен бути мінімальним, проте достатнім, що забезпечує необхідну для даного перетину та умов охолодження наскрізну прогартованність.

Надмірне легування погіршує й технологічність сталі (обробку різанням, зварюваність і т.д.). Виключення становлять нікель і молібден. Нікель підвищує опір крихкому руйнуванню, підвищуючи пластичність і в'язкість, зменшуючи чутливість до концентраторів напружень і знижуючи температуру порога холодноламкості. При змісті в сталі 1,0% Ni поріг холодноламкості знижується на 60-80°C, подальше збільшення концентрації нікелю до 3-4% викликає менше зниження порога холодноламкості. Введення 3-4% Ni рекомендується для забезпечення глибокої прогартованності. Нікель зменшує анізотропію й підвищує пластичність і в'язкість у напрямку, поперечному волокну. Нікель вводять частіше разом із хромом й іншими елементами у незначній кількості. У складнолегованих сталях, нікель також забезпечує високий опір крихкому руйнуванню.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад матеріалів

Марка сплаву	Масова частка компонентів, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo
12X2H4A	0,10-0,15	0,17-0,37	0,30-0,60	1,25-1,75	3,25-3,75	-	-
16X3HВФМБ (ВКС-5)	0,14-0,19	0,60-0,80	0,40-0,60	2,60-3,0	1,0-1,5	1,0-1,4	0,4-0,6
13X3HBM2Ф (ВКС-4)	0,10-0,15	0,40-0,80	0,40-0,60	2,7-3,2	0,8-1,2	-	-

Легування сталі невеликими кількостями (до 0,1- 0,15%) V, Ti, Nb й Zr, що утворюють складнорозчинні карбіди в аустеніті, подрібнює зерно, що знижує поріг холодноламкості, підвищує роботу поширення тріщини й зменшує

чутливість до концентраторів напружень. При великому вмісті цих елементів опір стали крихкому руйнуванню зменшується.

Легуючі елементи підвищують стійкість мартенситу проти відпуску й затримують коагуляцію карбідів. Тому для одержання необхідної міцності й твердості леговані сталі піддають відпуску при більше високій температурі, чим вуглецеві. Це дозволяє не тільки повністю зняти гартівні напруги, але й одержати в сталі краще сполучення, міцності й в'язкості.

Після однакової температури відпуску легована сталь буде мати більше високу міцність (твердість), але меншу пластичність і в'язкість. Легуючі елементи істотно підвищують міцність сталі після поліпшення, вони зміцнюють феритну основу (у тому числі й за рахунок збереження більшої щільності дефектів будови) і збільшують дисперсність карбідних часток. Найбільше сильно зміцнюють сталь Сг, Мо та Si.

У зв'язку із цим легована сталь й у відпаленому (нормалізованому) стані буде мати більшу міцність, але меншою пластичністю, в порівнянні з вуглецевою сталлю.

Для усунення зворотньої відпускну крихкості сталь легують молібденом (вольфрамом). Це важливо для великих виробів, у яких навіть при охолодженні у воді від температур відпустки не можна усунути цю крихкість. Також, молібден (вольфрам) підвищує прогартованність (особливо в сполученні з нікелем), стійкість сталі проти відпустки й сприяє утворенню дрібнозернистої сталі. Молібден значно поліпшує механічні властивості сталі після цементації (нітроцементації), і підвищує твердість і прогартованність нітроцементованого шарую, тому що сталі, що містять молібден, не схильні до внутрішнього окислювання при взаємодії з газовим карбюратором.

Більше надійні й стійкі до динамічних навантажень вироби варто виготовляти з високоміцних нітроцементованих сталей і піддавати їх нітроцементації на невелику глибину,

Таблиця 1.4 - Властивості матеріалів для зубчатих колес

Матеріал	Рекомендований режим термообробки	Властивості матеріалу					
		$\sigma_{в}$ , Мпа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$\sigma_{-1}$ , до ХТО	$\sigma_{-1}$ , після ХТО
		Не менше					
1	2	3	4	5	6	7	8
12Х2Н4А	Нітроцементация(850±10) °С повітря, відпал (600±10),повітря, Гарт (800±20),масло;Обробка холодом(-60..- 130);відпуск(160±10),пові тря	1000	-	12	55	520- 600	950-900
16ХЗНВФМ Б (ВКС-5)	Нітроцементация(830±10) °С повітря, відпал (650±10),повітря, Гарт (820±20),масло;Обробка холодом(-60..- 130);відпуск(180±10),пові тря	1300	1150	10	50	580- 620	1000-850
13ХЗНВМ2 (ВКС-5)	Нітроцементация(860±10) °С повітря, відпал (650±10),повітря, Гарт (820±20),масло;Обробка холодом(-60..- 130);відпуск(160±10),пові тря	1200	1050	13	55	620	-

## 2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НІТРОЦЕМЕНТАЦІЇ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Технологія термічної та хіміко-термічної обробки – складові частини технологічного процесу виготовлення виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості виробу тощо.

### 2.1 Вибір основних та допоміжних операцій технологічного процесу:

- до основних операцій відноситься відпал, нормалізація, гарт, старіння, відпуск, обробку холодом, нітроцементацию.
- до додаткових відноситься промивання виробів, очищення поверхні виробів від окалини, захист поверхонь від хіміко-термічної обробки.

### 2.2 Розробка режимів основних та допоміжних операцій ТО

Розробка режимів основних та допоміжних операцій ТО складається з вибору температур нагрівання і розрахунку часу нагрівання, витримки та охолодження для основних операцій ТО, вибору складу робочого середовища для нагрівання, насичення та охолодження, визначення витрат робочого середовища, визначення режимів допоміжних операцій очищення та вибору складу робочого середовища, температури і часу очищення.

При правильному виборі основних параметрів режиму ТО забезпечується отримання необхідної структури, властивостей та якості виробів при відповідній операції. Режим ТО складається з наступних параметрів: швидкість нагрівання, температура нагрівання, час витримки та швидкість охолодження.

Заготовки після штамповки недоцільно охолоджувати до 20°C, а потім виконувати попередню ТО. Заготовки завантажуються гарячими, тобто

використовується тепло попередніх операцій, економляться енергоносії, скорочується цикл виготовлення виробів зменшується ймовірність жолоблення та утворення тріщин.

Проміжні та кінцева температури нагрівання залежать від операцій ТО, хімічного складу матеріалу, необхідних кінцевих структури та властивостей, що вимагаються до матеріалу виробу.

При розрахунках загальної тривалості перебування виробів в печі користуються формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{техн}} + \tau_{\text{ох}},$$

де  $\tau_{\text{н}}$ - час нагрівання до заданної температури, хв.;

$\tau_{\text{в}}$  – час витримки для вирівнювання температури по поперечному перерізу, хв.;

$\tau_{\text{техн}}$  – тривалість технологічної витримки для протікання заданих процесів, хв.;

$\tau_{\text{ох}}$ - час охолодження виробів, хв..

### 2.3 Режими і технологія термічної обробки зубчастих коліс, виготовлених їх нітроцементованої сталі 16ХЗНВФМБ (ВКС-5)

До основних операцій технологічного процесу елементів першої групи деталей, т.є. зубчастих коліс із нітроцементованих сталей відносяться:: нітроцементация, гарт, висока відпуск, обробка холодом, низька відпуск.

Нітроцементация –процес ХТО , при якому поверхня сталі одночасно насичується азотом та вуглецем. При нітроцементации азот, дифундує зменшує температурну область існування  $\gamma$ -заліза та значно впливає на ступінь насичення вуглецем поверхневого шару та глибину дифузії вуглецю, що сприяє інтенсивному науглецюванню сталі.

Нітроцементация виробів проводиться при температурі  $(850\pm 10)^\circ\text{C}$  у електричній печі типу СНЦА у газовій атмосфері. Деталі після нітроцементации піддаються відпуску при температурі  $(600\pm 10)^\circ\text{C}$ . При відпуску відбувається виділення дисперсних карбідів із твердого розчину, що приводить до збідніння його вуглецем і легуючими елементами. В результаті зменшується ступінь легування аустеніту. Внаслідок цього точки  $M_{\text{п}}$  і  $M_{\text{к}}$  підвищуються, що приводить до зменшення кількості залишкового аустеніту в цементованому шарі після гарту. Відпуск проводиться в електричних печах СНЗА. Наступною операцією є гарт при температурі  $(800\pm 20)^\circ\text{C}$  в масло. Після гарту проводиться обробка холодом при температурі  $(-60..-130)^\circ\text{C}$ . Обробка холодом сприяє зменшенню кількості залишкового аустеніту в нітроцементованому шарі. Обробка холодом: викликає перетворення майже всього аустеніту в мартенсит у поверхневому шарі й значно підвищує твердість. Властивості серцевини при цьому не змінюються, тому що кількість залишкового аустеніту невелике й не змінюється при охолодженні в області низьких температур. Остаточною термічною обробкою є низькотемпературний відпуск при температурі  $(160\pm 100)^\circ\text{C}$  та охолодження на повітрі..

Графік термічної обробки зубчатих коліс із сталі ВКС-5 наведено на рисунку 2.1.

При розрахунках тривалості нагрівання необхідно враховувати, що вироби в нагрівальні пристрої завантажуються садками, або партіями. Розрахуємо загальний година перебування виробів у печі:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{техн}} + T_{\text{ох}}$$

де  $\tau_{\text{н}}$  – година нагрівання до заданої температури, хв.;

$\tau_{\text{в}}$  – година витримки для вирівнювання температури по поперечному перерізу, хв.;

$\tau_{\text{техн}}$  – тривалість технологічної витримки для протікання заданих процесів (насичення, виділення фаз, гомогенізації, розчинення фаз, тощо), хв.;

$T_{ox}$  - година охолодження виробів з піччю, хв.

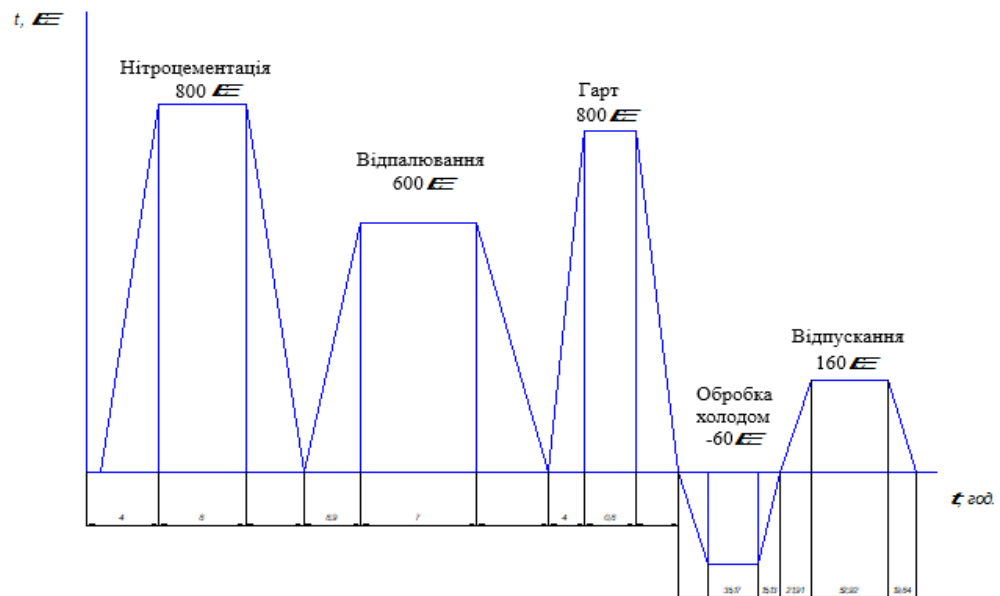


Рисунок. 2.1 Графік термообробки зубчастих колес зі сталі ВКС-4

Для визначення тривалості нагрівання  $T_n$  можна використати емпіричні залежності. Вони отримані на основі того, що кожна складається із простих за формою виробів, при простій схемі їх розташування в один або декілька рядів, в один або декілька ярусів з дотриманням певної відстані між виробами та без урахування негативного впливу на процес нагрівання нерухомих об'ємів робочого середовища. За таких розумів  $T_n$  визначається рівнянням:

$$\tau_n = S \cdot K \cdot f \cdot L_{л},$$

де  $S$  - характеристичний розмір виробу, мм;

$K$ - коефіцієнт форми;

$f$  - коефіцієнт розташування виробів;

$L_{л}$  - коефіцієнт легування.

а) Нітроцементация:

для температури  $850 \pm 10^{\circ}\text{C}$  тривалість нагрівання визначається

$$\tau_{\text{н}} = 57 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 2,0,96 = 240 \text{ хв} = 4 \text{ год.}$$

Час витримки зазначено в технологічній карті і для шару 0,6-0,8 мм дорівнює 8 годин.

Тривалість розвантаження та завантаження  $\tau_{\text{зр}}$  складає 15 хв.

Тоді загальний час становить:

$$\tau_{\text{заг}} = 240 + 480 + 15 = 735 \text{ хв} = 12,25 \text{ год}$$

б) Відпускання

$$\tau_{\text{н}} = 57 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 2,15 = 539 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{в}} = 7 \text{ год} = 420 \text{ хв.}$$

Тривалість розвантаження та завантаження  $\tau_{\text{зр}}$  складає 15 хв.

$$\tau_{\text{заг}} = 539 + 420 + 15 = 974 \text{ хв} = 16,2 \text{ хв}$$

в) Гартування

$$\tau_{\text{н}} = 57 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 0,96 = 240 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{в}} = 48 \text{ хв}$$

Тривалість розвантаження та завантаження  $\tau_{\text{зр}}$  складає 15 хв.

$$\tau_{\text{заг}} = 240 + 48 + 15 = 303 \text{ хв} = 5 \text{ год.}$$

г) Обробка холодом 1 год

д) Відпускання

$$\tau_{\text{н}} = 57 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 15 = 539 \text{ хв} = 8,9 \text{ год.}$$

$$\tau_{\text{в}} = 3 \text{ год} = 180 \text{ хв.}$$

Час розвантаження та завантаження  $\tau_{\text{зр}}$  складає 15 хв.

$$\tau_{\text{заг}} = 301 + 180 + 15 = 726 = 12 \text{ год.}$$

Карту технологічного процесу певного виробу наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Карта технологічного процесу термічної обробки зубчатих колес

Ескіз виробу			Технічні умови			
Див. рис. .1.1			Марка сплаву	Властивості		Структура
			ВКС-5			
№ операції	Назва операції	Обладнання:	Режим нагрівання: Температура, °С., час, хв., середовище та його витрати	Режим охолодження: Середовище, його температура, °С., склад, витрати та вартість ур	Назва пристосування, кількість, шт	Умови обробки та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, мікроскоп, твердомір, лінійка. ТШ-2				Хім. склад, мех. властивос ті, наявність поверхне вих дефектів, структура

## Продовження таблиці 2.1

2	Нітроцементация	СНЦА 5.10.3,2/10				.
2.1	Нагрівання	СНЦА 5.10.3,2/10	t=850°C тн=4 год. Середовище: (CO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> , C H <sub>4</sub> )		піддон	Контроль температури та складу середовища
2.2	Витримка	СНЦА 5.10.3,2/10	тв=8 год. Середовище: (CO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> , C H <sub>4</sub> )			
2.3	Охолодження	стіл		t=20°C V <sub>ох</sub> =5 °C/с середовище: повітря		
2.4	Контроль якості нітроцементации	ТК, мікроскоп			зразки	Структура 5-10% від партії
3	Відпуск	СНЗА 5.10.3,2/7				

Продовження таблиці 2.1

3.1	Нагрівання	СНЗА 5.10.3,2/7	t=600°C тн=8,9 год. Захисне середовище ( аргон )			Температура та склад середовища
3.2	Витримка	СНЗА 5.10.3,2/7	тв=7 год. Захисне середовище			
3.3	Охолодження	Стіл		t=20°C V <sub>ох</sub> =5 °C/с середовище: повітря		
3.4	Контроль якості	ТК, мікроскоп			зразки	твердість
4	Гарт	СНЗА 5.10.3,2/10				
4.1	Нагрівання	СНЗА 5.10.3,2/10	t=800°C тн=4 год. Захисне середовище			
4.2	Витримка	СНЗА 5.10.3,2/10	тв=0,8 год. Захисне середовище			

## Продовження таблиці 2.1

4.3	Охолодження	ванна		$t=20^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{ох}}=^{\circ}\text{C}/\text{с}$ середовище: масло		
5	Обробка холодом	термобарок амера	$t_{\text{в}}=1$ год середовище: азот			
6	Відпуск	СНО 6.12.4/7				
6.1	нагрівання	СНО 6.12.4/7	$t=160^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{н}}=8$ год. Окисне середовище			
6.2	витримка	СНО 6.12.4/7	$t_{\text{в}}=3$ год, окисне середовище			
6.3	охолодження	Стіл		$t=20^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{ох}}=5^{\circ}\text{C}/\text{с}$ середовище: повітря		
5	Вихідний контроль. Мех. Властивостей, мікроструктури,	Мікроскоп, стилоскоп, лінійка, випробувальна техніка				Твердість, глибина шару, міцність, ударна в'язкість

## 2.4 Вибір та розрахунки кількості обладнання

Вихідні дані для розрахунків кількості обладнання - річна виробнича програма, режим роботи термічного підрозділу, річний фонд часу роботи обладнання, режим термообробки виробів, карти технологічних процесів термообробки.

Річна виробнича програма. До програми входять: номенклатура виробів, маса та габаритні розміри виробів, кількість та загальна маса кожного виробу, який проходить обробку. Загальна кількість та маса виробів складають виробничу програму підрозділу.

Річна виробнича програма представлена в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Річна виробнича програма

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм				Виробнича програма	Виробнича програма
			b	l	h	d	шт.	кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зубчасте колесо	ВКС-4	0,44	16,9			65,5	2049	901,7
Зубчастий вінець	ВКС-4	0,76	14,2			93,75	2254	1713,23
Зубчасте колесо	ВКС-4	2,49	27,9			120,9	2172	5410,2
Зубчасте колесо	ВКС-5	42,5	114			247,15	2206	93776,8
Зубчасте колесо	ВКС-5	5,79	99,6			97,5	2195	12713,97
Зубчастий вінець	ВКС-5	4,9	189			65,2	2208	10820,4
Зубчасте колесо	12X2H4A	12,3	3246			78,8	2199	27051
Зубчасте колесо	12X2H4A	4,9	87,6			95,6	2208	10820,4
Зубчасте колесо	12X2H4A	7,82	260			70,13	2190	17132,3

Режими роботи термічного підрозділу. Кількість виробничих змін на дільниці, у відділенні, цеху залежить від характеру виробництва, об'єму

продукції, використаного обладнання, його продуктивності, від прийнятих технологічних процесів термообробки.

Річний фонд часу роботи обладнання.

Дійсний фонд часу роботи обладнання  $\Phi_d$  залежить від прийнятого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу і визначається за формулою:

Для однієї зміни:

$$\Phi_d = 251 \cdot 0,92 \cdot 8 = 1847,36$$

Для двох змін:

$$\Phi_d = 251 \cdot 0,92 \cdot 8 \cdot 2 = 3694,72$$

Для трьох змін

$$\Phi_d = 251 \cdot 0,92 \cdot 8 \cdot 3 = 5542,08$$

Таблиця 2.3 Завантажувальна відомість обладнання періодичної дії для групи деталей з нітроцементовних сталей

Обладнання — СНЦА 5.10.3,2/10

Операція — Нітроцементация

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Річна програма Мрі		Садка Псі		кількість садок	Загальний час обробки салки	Необхідний час роботи печі Ті,	ГОЛ
			шт.	кг	шт.	кг				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Зубчасте колесо	ВКС-4	0,44	2049	901,7	360	158,4	6	5,85	35,1	
Зубчастий вінець	ВКС-4	0,76	2254	1713,23	360	273,6	7	6,75	47,25	
Зубчасте колесо	ВКС-4	2,49	2172	5410,2	84	209,16	25	7,2	180	
Зубчасте колесо	ВКС-5	42,5	2206	93776,8	6	255	367	12,25	4495,75	

Продовження таблиці 2.3

Зубчасте колесо	ВКС-5	5,79	2195	12713,97	30	173,7	73	11,75	857,75
Зубчастий вінець	ВКС-5	4,9	2208	10820,4	48	235,2	46	15	690
Зубчасте колесо	12X2H4A	12,3	2199	27051	16	196,8	137	19,6	2685,2
Зубчасте колесо	12X2H4A	4,9	2208	10820,4	52	254,8	42	11,5	483
Зубчасте колесо	12X2H4A	7,82	2190	17132,3	30	234	73	17,5	1277,5
									10751,85

Кількість садок на рік розраховуємо за формулою

$$N_i = \frac{M_{pi}}{П_{ci}}$$

Необхідний час роботи печі для обробки і-того виробу розраховуємо за формулою

$$T_i = N_i \cdot \tau_{заг_i}$$

Визначаємо загальна тривалість роботи обладнання  $T_z$  для обробки деталей, передбачених річною програмою:

$$T_z = \sum_{i=1}^n T_i$$

Розраховуємо кількість однотипного обладнання за формулою

$$P_p = \frac{T_z}{\Phi_\partial}$$

де  $\Phi_\partial$  – дійсний фонд часу роботи обладнання, залежить від прийнятого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу.

$$\Phi_\partial = (365 - D_{\text{вих}} - D_{\text{св}}) \cdot K_{\text{зм}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot K_{\text{вик}}$$

де  $D_{\text{вих}}$  – кількість вихідних днів за рік;

$D_{\text{св}}$  – кількість святкових днів за рік;

$K_{\text{зм}}$  – кількість змін за добу;

$T_{\text{зм}}$  – тривалість однієї зміни, год

$K_{\text{вик}}$  – коефіцієнт використання часу роботи обладнання (для немеханізованого обладнання  $K_{\text{вик}}=0,94\dots0,96$ , для механізованого  $K_{\text{вик}} = 0,90\dots0,94$ )

$$\Phi_\partial = 251 \cdot 0,92 \cdot 8 \cdot 3 = 5421,6 \text{ (трьохзмінний режим роботи)}$$

Отже за формулою розраховуємо

$$P_p = \frac{10751,85}{5542,08} = 1,94$$

Так, як розрахункова кількість обладнання число неціле, тому при визначенні прийнятої кількості обладнання  $P_{np}$  необхідно отримане число збільшити до більшого цілого числа

$$P_{np} = 2$$

Далі визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_{пр}}$$

$$\text{Отже } K_{зав} = \frac{1,94}{2} = 0,97$$

Таблиця 2.4 Завантажувальна відомість обладнання періодичної дії для групи деталей з нітроцементовних сталей

Обладнання — СНЗА 5.10.3,2/7

Операція — Відпал

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Річна програма Мрі		Садка Псі		кількість садок	Загальний час	Необхідний час роботи печі Ті,
			шт.	кг	шт.	кг			
Зубчасте колесо	ВКС-4	0,44	2049	901,7	360	158,4	6	8,6	51,6
убчастий вінець	ВКС-4	0,76	2254	1713,23	360	273,6	7	8,35	58,45
Зубчасте колесо	ВКС-4	2,49	2172	5410,2	84	209,16	25	10	250
Зубчасте колесо	ВКС-5	42,5	2206	93776,8	6	255	367	16,2	5945,4
Зубчасте колесо	ВКС-5	5,79	2195	12713,97	30	173,7	73	16	1168
Зубчастий вінець	ВКС-5	4,9	2208	10820,4	48	235,2	46	22	1012
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	12,3	2199	27051	16	196,8	137	32	4384
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	4,9	2208	10820,4	52	254,8	42	14	588
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	7,82	2190	17132,3	30	234	73	20	1460
									14917,5

$$\Phi_0 = 251 \cdot 0,92 \cdot 8 \cdot 3 = 5542,08 \text{ (трьохзмінний режим роботи)}$$

Отже за формулою розраховуємо

$$P_p = \frac{1417,5}{5542,08} = 2,7$$

Так, як розрахункова кількість обладнання число неціле, тому при визначенні прийнятої кількості обладнання  $P_{np}$  необхідно отримане число збільшити до більшого цілого числа

$$P_{np} = 3$$

Далі визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_{np}}$$

$$\text{Отже } K_{зав} = \frac{2,7}{3} = 0,9$$

Таблиця 2.5 Завантажувальна відомість обладнання періодичної дії для групи деталей з нітроцементовних сталей

Обладнання — СНЗА 5.10.3,2/10

Операція — Гарт

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Річна програма Мрі		Садка Псі		кількість	Загальний час	Необхідний час роботи
			шт.	кг	шт.	кг			
Зубчасте колесо	ВКС-4	0,44	2049	901,7	360	158,4	6	1,6	9,6
Зубчастий вінець	ВКС-4	0,76	2254	1713,23	360	273,6	7	1,5	10,5
Зубчасте колесо	ВКС-4	2,49	2172	5410,2	84	209,16	25	3,08	77
Зубчасте колесо	ВКС-5	42,5	2206	93776,8	6	255	367	5	1835
Зубчасте колесо	ВКС-5	5,79	2195	12713,97	30	173,7	73	4,5	328,5
Зубчастий вінець	ВКС-5	4,9	2208	10820,4	48	235,2	46	7,7	354,2
Зубчасте колесо	12X2H4A	12,3	2199	27051	16	196,8	137	12	1644

## Продовження таблиці 2.5

Зубчасте колесо	12X2H4A	4,9	2208	10820,4	52	254,8	42	4,1	1722
Зубчасте колесо	12X2H4A	7,82	2190	17132,3	30	234	73	10	730
									6710,8

Отже за формулою розраховуємо

$$P_p = \frac{6710,8}{3694,72} = 1,816$$

Так, як розрахункова кількість обладнання число неціле, тому при визначенні прийнятої кількості обладнання  $P_{np}$  необхідно отримане число збільшити до більшого цілого числа

$$P_{np} = 2$$

Далі визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання по формулі (1.6)

$$\text{Отже } K_{зав} = \frac{1,816}{2} = 0,91$$

Таблиця 2.6 - Завантажувальна відомість універсального обладнання періодичної дії для групи деталей з нітроцементовних сталей

Обладнання — СНО 4.8.2,5/10

Операція — Відпуск

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Річна програма Мрі		Садка Псі		кількість садок	Загальний час	Необхідний час роботи печі Ті,
			шт.	кг	шт.	кг			
Зубчасте колесо	ВКС-4	0,44	2049	901,7	360	158,4	6	4,58	27,48
Зубчастий вінець	ВКС-4	0,76	2254	1713,23	360	273,6	7	4,4	30,8
Зубчасте колесо	ВКС-4	2,49	2172	5410,2	84	209,16	25	5,5	137,5

Продовження таблиці 2.6

Зубчасте колесо	ВКС-5	42,5	2206	93776,8	6	255	367	12	4404
Зубчасте колесо	ВКС-5	5,79	2195	12713,97	30	173,7	73	11	803
Зубчастий вінець	ВКС-5	4,9	2208	10820,4	48	235,2	46	18	828
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	12,3	2199	27051	16	196,8	137	10	1370
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	4,9	2208	10820,4	52	254,8	42	10,2	428,4
Зубчасте колесо	12Х2Н4А	7,82	2190	17132,3	30	234	73	24	1752
									5421,58

Отже за формулою розраховуємо

$$P_p = \frac{5421,58}{5542,08} = 0,98$$

Так, як розрахункова кількість обладнання число неціле, тому при визначенні прийнятої кількості обладнання  $P_{np}$  необхідно отримане число збільшити до більшого цілого числа

$$P_{np} = 1$$

Далі визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання по формулі

$$\text{Отже } K_{зав} = \frac{0,98}{1} = 0,98$$

## 2.5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку

### Вхідний контроль

Вхідний контроль дозволяє вирішувати наступні задачі:

- визначати відповідність металу вимогам стандартів чи технічних умов; а також замовленню;

- виявляти дефекти в металі, виявляти їх характер, встановлювати ступінь ураження металу дефектами;

- попереджувати попадання дефектного металу у виробництво і т. і.

Використовують наступні види вхідного контролю:

- Візуальне оглядання без чи з використанням збільшувальних приладів.
- Аналіз хімічного складу.
- Визначення механічних властивостей.
- Аналіз мікро - та макроструктури.

Якщо при вхідному контролі виявляється невідповідність партії металу технічним вимогам по одному або декільком показникам якості, то цей метал повинен повертатись поставникам з накладанням штрафних санкцій в установленому порядку.

Технічний контроль повинен передбачити контроль за дотриманням технології режимів термообробки, перевірки якості термічної обробки виробів. Технічний контроль передбачає не лише перевірку якості ТО виробів, але її контроль дотримання технологічних параметрів процесів на всіх стадіях перероблення.

Головними параметрами, які контролюють є наступні:

- Температура в печі, яка контролюється за допомогою термопар. Термопари розташовуються в різних точках печі для фіксації зміни в роботі нагрівальних печей.

- Час, який садка або партія виробів знаходиться в печі
- Склад контрольованої атмосфери

Оскільки, в даній роботі розглядається нітроцементация і захист виробів від знеуглецювання, то головною задачею є контроль вуглецевого та азотного потенціалу. При цьому використовується датчик у вигляді тонкого сталевого дроту, який в газовому середовищі печі піддається науглецюванню. Ефект науглецювання спостерігається по зміні електроопору дроту і у вигляді електричного імпульсу передається на контрольно-регулюючу частину приладу, внаслідок чого спрацьовує дозатор, який регулює витрати карбюратора. При подачі карбюратора в піч вуглецевий потенціал

збільшується , а при припиненні – зменшується. При цьому за складом контрольованої атмосфери спостерігають при всіх операціях ТО .

Якість виробів після ХТО і ТО перевіряють за наступними параметрами:

- товщина насиченого шару, яка визначається на макро- і мікроструктурі або по розподілу твердості
- твердості поверхні після цементації по Роквеллу
- твердості поверхні по Роквеллу після гартування та відпуску
- твердість серцевини по Брінелю
- глибина шару

Для контролю поверхневих дрібних тріщин в загартованих виробах без їх руйнування широкого поширення набули магнітні методи (магнітна дефектоскопія).

Особливо важливим є контроль зовнішньої зони дифузійного шару- це зона, що безпосередньо розташована біля поверхні насичення, зазвичай товщиною до декількох десятків мікрометрів. Саме ця зона піддається найбільшим експлуатаційним навантаженням при роботі деталей на згин, крутіння, високим контактним напруженням. Ця поверхня визначає опір виріб зношуванню.

Контроль якості нітроцементації. Глибину шару при газовій нітроцементації визначають на зразках з тієї ж сталі, що і вироби. Зразки при газовій нітроцементації розташовують в муфель, в кожному корзині або в місця , що забезпечують перевірку всього об'єму робочого простору, та контролюють тими ж засобами, як і при цементації.

а) по зламу контрольного зразка після гарту у воді або маслі з оптимальної температури гарту оброблюємої марки сталі. При цьому нітроцементований шар відрізняється від серцевини концентричною білою полоскою, товщину якої приймають за глибину шару вимірюють мірильною лупою.

б) макроаналіз: виготовляється мікро шліф та травляться протягом (2 – 3) хвилин в ( 4 – 5 )% розчині азотної кислоти в етиловому спирті. За глибину нітроцементованого шару приймають весь шар, що видно при вимірюванні лупою.

в) мікроаналіз: виготовляється шліф із зразка – свідка або виробу та травлять ( 20 – 30 ) сек. В 2% розчині азотної кислоти в етиловому спирті. При визначенні глибини шару по мікроструктурі за глибину в загартованому шарі приймають весь мартенситний та тросто – мартенситний шар, тобто увесь шар, де відбулось насичення С та N.

Мікроструктура шару повинна складатися з дрібногочастого, азатового мартенситу, що слабо шавлиться. Дефектами шару є наявність в наружній зоні залишкового аустеніту, плям темної структурної складової. При оцінці якості хіміко – термічної обробки велике значення має методика проведення випробувань та твердість та крихкість.

Твердість нітроцементованих деталей визначають після гарту та відпуску згідно з вимогами до креслення та технології. Поверхня повина бути зачищена та відполірована.

В залежності від товщини нітроцементованого шару твердість конструкційних сталей вимірюється за РОквелом та Вікерсом з різним навантаженням, згідно таблиці.

Таблиця 2.7 Визначення твердості нітроцементованого шару.

Глибина шару	Метод заміру твердості	Максимальне допустиме навантаження на індентора	Допустима твердість поверхні
0,1-0,3	HRN, HV	5	87HR15N, 610HV

Продовження таблиці 2.7

0,2-0,5	HRA, HRN, HV		
0,4-0,7	HRA, HRN, HV	5	78,5HRA, 87HR15N,610HV
0,7-1,2	HRC	10	660HV,59HRC

Таблиця 2.8 Види дефектів та способи їх запобігання

Вид дефекту	Причина появи дефекту	Заходи по запобіганню	Рекомендації по усуненню
1. завищена глибина шару	Завищена $t$ , завищений $\tau_b$ , висока активність атмос-фери	Здійснення процесів згідно технології, регулювання потенціала	Невиправний вид дефекту
2. занижена глибина шару	занижена $t$ , занижена $\tau_b$ , мала активність атмос-фери	Здійснення процесів згідно технології, регулювання потенціала	Повторна нітроцементация
3.занижений вміст С та N	Занижений вміст С та N, висока температура нітроцементации	Здійснення процесів згідно технології, підтримка потенціалу	Проведення нітроцементации з підвищеним потенціалом С та N

Продовження таблиці 2.8

4.Незадовільний розподіл С та N по глибині шару	Незадовільне регулювання С та N потенціалу, відхилення від температурного режиму	Дифузійний відпал	Дифузійний відпал в атмосфері із заниженим потенціалом С та N
---	--	-------------------	---

Контроль якості гартування.

Тріщини можуть виникати на різних стадіях обробки, і є наслідком різних причин. Тріщини – наслідок порушення режиму термічної обробки у випадках:

- дуже швидкого нагрівання під гартування (без підігріву) інструментів складної форми;
- дуже швидкого охолодження в області мартенситного перетворення;
- перегрів при гартуванні сталі з великою карбідною неоднорідністю.

Деякі тріщини можуть виникати в результаті впливу комплексу вищенаведених причин. Чутливість до тріщин посилюють надрізи та риски.

Недостатня твердість після відпускання може бути викликана наступним:

- зниженим нагріванням при гартуванні (через утворення недостатньо легованого мартенситу знижується твердість);
- низькою температурою нагрівання при відпусканні (ця причина виявляється магнітним контролем);
- значне забруднення охолоджуючих ванн, розпад солей в результаті постійної взаємодії з нагрітими інструментами, нерегулярна чистка ванн від осадів, що утворюються.

При старінні важливий контроль виділення інтерметалідної фази, кількості, розміру та форми частинок, а також розподілення по всьому об'єму.

При відпусканні можуть виникнути наступні дефекти:

- занижена твердість через відпускання при завищеній температурі ;

– викривлення інструментів через неправильне розташування в садці;

Види дефектів, заходи по їх усуненню та запобіганню наведені у таблиці

## 2.9

Таблиця 2.9. Види дефектів та їх усунення

Вид дефекту	Причини виникнення	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
Гартування			
Крупне зерно	1) Завищена температура гартування	Контролювання та регулювання	Невиправний
	2) Завищений час витримки	Температури дотримання технологічного часу	
Дрібне зерно	1) Занижена температура гартування; 2) Занижений час витримки	Дотримання оптимальної температури та витримки при гартуванні	Проведення повторної ТО за раціональною технологією
Короблення, тріщини	Швидке охолодження	Дотримання оптимальної швидкості охолодження при гартуванні	Невиправний
Перепал	1) Завищена температура гартування; 2) Завищений час витримки	Контролювання та регулювання температури дотримання технологічного часу	Невиправний

Продовження таблиці 2.9

Неоднорідна структура	Недостатній ступінь гомогенізації твердого розчину при гартівному нагріванні – занижена температура гартування чи час витримки	Дотримання оптимальної температури та витримки при гартуванні	Проведення повторної ТО за раціональною технологією
Старіння			
Занижені характеристики міцності	1) Завищена температура старіння; 2) Завищений час витримки	Контролювання та регулювання температури дотримання технологічного часу	Проведення повторної ТО за раціональною технологією

Контроль структури, якості поверхні можна здійснювати методами вихрових струмів. За цим методом деталь вносять в котушку соленоїда, яка підключена до генератора змінного струму. При цьому в деталі виникає магнітне поле. Останнє збуджує в ній вихрові струми, котрі утворюють магнітне поле протилежне полю соленоїда, ослаблюючи основний магнітний потік. В вимірювальній котушці утворюється е.р.с., по її величині можна судити про властивості контролюемого об'єкта в результаті т/о і зміни розмірів.

Для виявлення раковин, тріщин і інших внутрішніх несучільностей широко використовують ультразвуковий метод. Метод заснован на здатності

ультразвукових коливань відбиватись від поверхні внутрішніх неоднорідностей.

За допомогою магнітних методів виявляють поверхневі дефекти типа тріщин , флокенів і інших несучильностей металів.

Із магнітних методів широко використовується метод магнітного порошка. Перевіряема деталь намагнічується і посипається магнітним порошком . Порошок осідає на дефектних місцях і виявляє їх. Для отримання більш прозорої картини порошок з деталі змивають ; залишається він тільки на дефектних місцях.

Використовують також індукційний метод . Шукачами дефектів служать котушка , з'єднані з реєструючим приладом відповідно або через лампові підсилювачі. Котушки розміщують на поверхні деталі , що випробується. Деталь намагнічується, а катушка переміщується вздовж осі .В момент перетину місця розташування дефекту в витках катушки , внаслідок зміни магнітного потоку виникає електрорухома сила індукції , котра реєструється відповідним приладом.

Дотримуючись всіх технологічних характеристик , які приведені в технологічній карті ,можливо усунення всіх видів браку ,або майже всіх , що суттєво скоротить витрати на проведення термічної обробки для виправлення структури чи перетопку матеріалу.

### 3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕЙ ДЛЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ГТД НА ЇХ ЗНОСОСТОЙКІСТЬ

#### 3.1 Дослідження нітроцементатації теплостійких сталей

У зв'язку з прискореним розвитком техніки вкрай актуальними стали поняття підвищення надійності та довговічності деталей ГТД, Вирішення таких питань перш за все пов'язано із зміцненням поверхневих шарів виробів.

Роль зміцнення поверхневих шарів в довговічності виробів особливо зростає, так як розвиток більшості галузей промисловості ( авіаційна, ракетна, теплоенергетика ) пов'язано із підвищенням навантажень, температур, агресивності середовищ, в яких вироби експлуатуються.

Змінити властивості поверхні в необхідному напрямку можна різними методами. Їх можна умовно розділити на два види :

- 1) нанесення на поверхню іншого металу з необхідними властивостями;
- 2) зміна складу поверхневого шару металу, що забезпечує бажану зміну властивостей.

Для виробів високо навантажених та тих, що працюють при значних температурах , та вимагають при цьому високої точності поверхні використовується ХТО ,в результаті якої на поверхні виробу утворюється новий сплав, що відрізняється від серцевини.

Хіміко – термічна обробка дозволяє отримати в поверхневому шарі практично будь-який склад, а відповідно і забезпечити комплекс необхідних властивостей ( фізичних, хімічних, механічних )

Метою ХТО є поверхнєве зміцнення сталей та сплавів ( підвищується твердість поверхні сталей, зносостійкість, втомна міцність, жаростійкість та інші характеристики), а також надання їм підвищеної стійкості проти дії

агресивних середовищ при дії різних температур: підвищення стійкості проти корозії, ерозії, жаростійкість.

Для теплостійких конструкційних сталей, що використовуються в авіаційній промисловості, використовують різні види ХТО: цементация в твердому або газоподібному карбідзаторі, газова нітроцементация ( або рідке ціанування ), азотування.

Використання нітроцементации з метою зміцнення поверхневих шарів зубців шестерен в теперішньому часі має все більше використання в авіабудуванні.

Перевага процесу нітроцементации в порівнянні з цементацией по технологічності безсуперечне:

- більш низькі температури насичення;
- більш високі швидкості одночасного насичення вуглецем та азотом;
- можливість використання безпосереднього гарту для більш широкого класу теплостійких сталей.

Окрім цього, важливе значення має також отримання більш високого комплексу механічних властивостей при нітроцементации.

При нітроцементации азот, дифундує в сталь разом з вуглецем, зменшує температурну область існування  $\gamma$ -заліза та істотно впливає на ступінь насичення поверхневого шару вуглецем та глибину дифузії вуглецю, сприяючи інтенсивному науглецюванню сталі при більш низьких температурах, ніж при цементации.

Для забезпечення оптимальних показників міцності, концентрація вуглецю та азоту в шарі повинні регулюватися в певних межах.

Ступінь насичення нітроцементованого шару на поверхні доцільно характеризувати вмістом вуглецю та додатково сумою вуглецю та азоту ( C + N<sub>2</sub> )

Оптимальний вміст вуглецю визначається по різності оптимальною сумою ( C + N<sub>2</sub> ) та оптимальним вмістом вуглецю. При високій азотуючій активності середовища формування шару протікає в дві стадії : с початку сталь

насичується азотом до високих концентрацій, а на другій стадії відбувається розпад азотистих фаз з виділенням молекулярного азоту, що призводить до утворення внутрішніх пор в металі ( темна складова ).

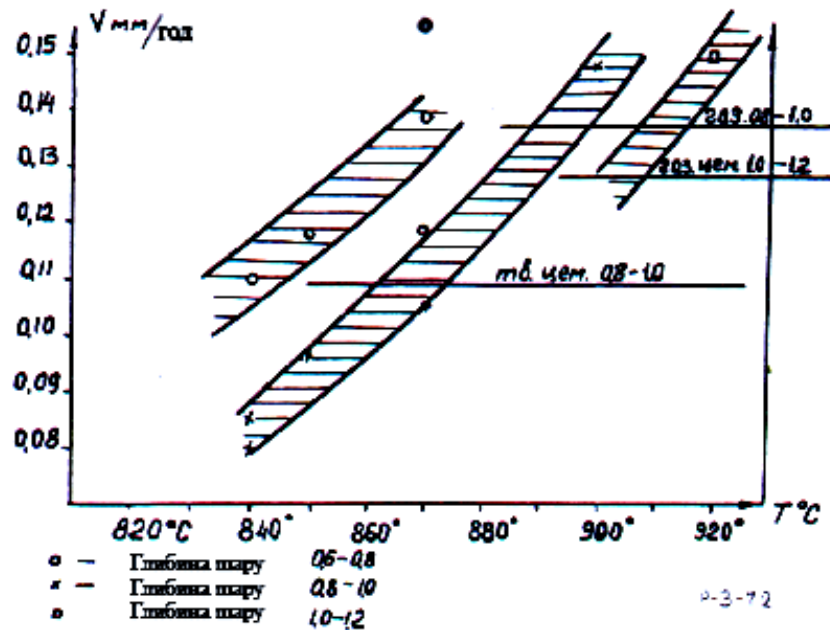


Рисунок 3.1. – Вплив температури на швидкість утворення дифузійного шару при різних глибинах шару

На рисунку 3.1 наведено межі допустимої швидкості росту дифузійного шару при нітроцементатії в залежності від температури насичення та глибини шару, а також наведені дані середньостатистичні дані по швидкості насичення при твердій та газовій цементатії. Аналіз результатів показує, що не дивлячись на використання більш збіднених середовищ при нітроцементатії у випадку використання теплостійких сталей, швидкість утворення дифузійних шарів при нітроцементатії на 15 – 20 % вище, ніж при газовій цементатії та на 30-40% вище, ніж при твердій цементатії.

Підвищена швидкість утворення дифузійних шарів при нітроцементатії пояснюється наступними особливостями:

1. в зоні адсорбційного шару відбуваються реакції, що сприяють видаленню баластних часток з поверхні метал-газ та тим самим підвищує парціальний тиск реагентів;

2. при дифузії азоту в сталь різко знижується точка  $A_{c_3}$  ( кожні 0,5 % азоту дають зниження на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ), тому дифузія вуглецю починається та протікає при більш низькій температурі, ніж при цементації;

3. коефіцієнт дифузії вуглецю в сталь в присутності азота в 1,5- 2 рази вищий.

Підвищення температури нітроцементації підвищує вміст вуглецю та зменшує вміст азоту.

Зниження активності нітроцементуючих середовищ по азоту при підвищенні температури можна спостерігати по зміні карбонітридній поверхневій зоні в залежності від температури нітроцементації. Залежність показано на рис. 3.2

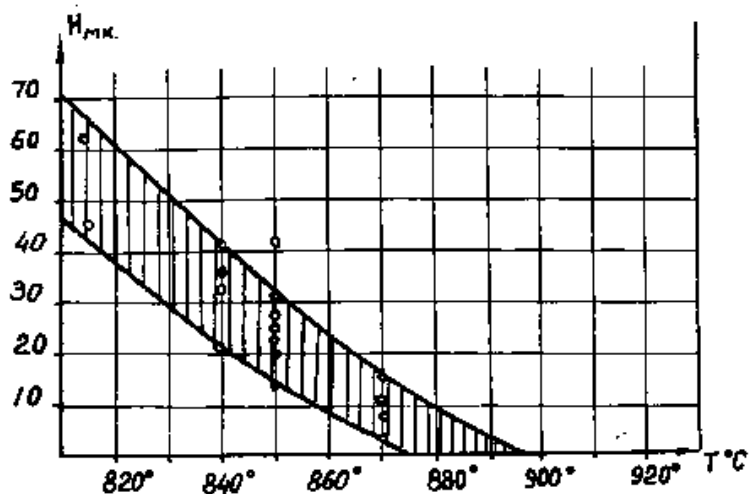
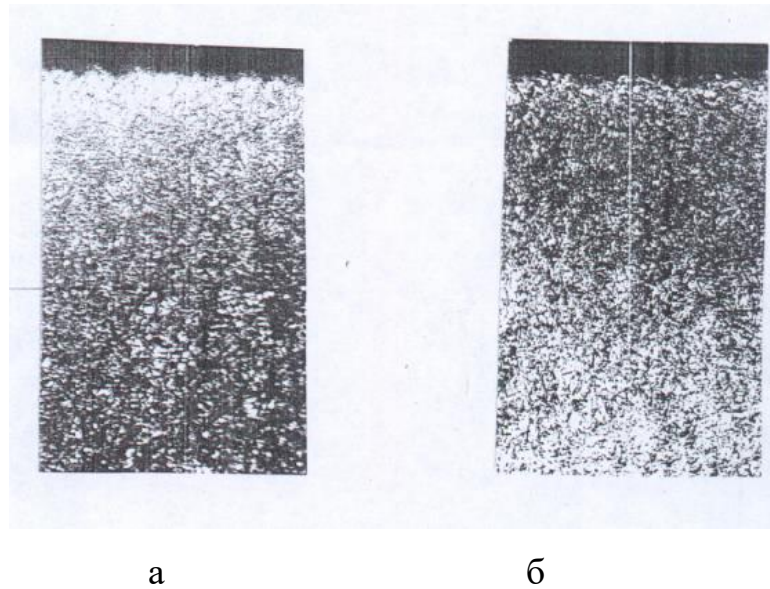


Рисунок 3.2. – Зміна глибини карбонітридної зони при різій температурі нітроцементування.

Якщо нітроцементування проводиться при температурі  $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то карбонітридна зона уявляє собою суцільну лінію, утворившися при достатньо активному середовищі, 50-60 мікрон, а при проведенні нітроцементування при  $870$

°C практично повністю усуває карбонітридну фазу, і тільки при особливо активному середовищі карбонітридна зона уявляє собою окремо розташовані карбонітриди глибиною до 20 мікрон (рис 3.3).



а - температура насичення 820°C; б - температура насичення 870°C

Рисунок 3.3. – Мікроструктура нітроцементованого шару

Утворення карбонітридної фази та її кількість знаходиться також у прямій залежності вмісту вуглецю та азоту в шарі.

Мікроструктура нітроцементованого шару при оптимальних концентраціях вуглецю та азоту складається з мартенситу та остаточного аустеніту.

При контролі мікроструктури дифузійного шару слід враховувати, що при дуже низькій концентрації вуглецю та азоту в структурі шару по границям зерен мартенситу з'являється тростит. Разом цим, при дуже високій концентрації вуглецю та азоту в зовнішній зоні з'являються карбонітридні фази типу  $Fe_3(CN)$  та підвищується кількість залишкового аустеніту. Все це призводить до зменшення міцності нітроцементованої сталі. Для забезпечення високої міцності нітроцементованої сталі необхідно регулювання ступеня насичення нітроцементованого шару вуглецем та азотом.

Структура нітроцементованого шару в залежності від температури та тривалості процесу може змінюватись в широких інтервалах. При температурах близько 700 °С в структурі спостерігаються дві зони, що різко відрізняються. Перша, поверхнева зона, складається переважно із суміші  $\epsilon$  – карбонітридів, з певною кількістю цементиту, в якому частина атомів вуглецю, заміщена атомами азоту. В другій зоні, знаходяться продукти розпаду азотистого аустеніту. З підвищенням температури, товщина першої зони зменшується, а загальна товщина шару збільшується. При температурі 850 °С перша зона практично відсутня, та структура повністю складається темних голок мартенситу, розташованих на світлому фоні залишкового аустеніту.

3.2 Особливості дифузійного насичення теплостійких сталей та мікроструктура шару після нітроцементациї.

Розглянемо 2 марки нітроцементовні марки сталі для зубчастих колес, що мають в своєму складі принципову різницю : сталь 20Х3МВФ в своєму складі має тільки карбідоутворюючі елементи, та сталь 14ХГСН2МА, що містить окрім карбідоутворюючих елементів, певну кількість нікелю, що підвищує коефіцієнт дифузії.

Швидкість росту глибини шару сталі 14ХГСН2МА на 15-20% вища за швидкість росту глибини шару на сталі 20Х3МВФ. Така незначна різниця в швидкості росту шару пов'язана з тим, що в дифузійному шарі, що має в своєму складі карбідоутворюючі елементи, є підвищений вміст вуглецю ( рисунок 3.4 ) і тому більш високий концентраційний напор по вуглецю в певному ступені компенсує зменшення коефіцієнту дифузії.

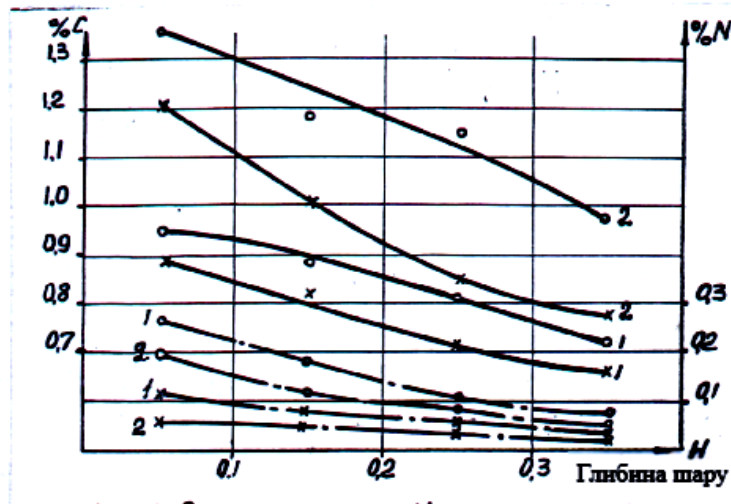


Рисунок 3.4 – Вміст вуглецю та азоту в дифузійному шарі теплостійких сталей 14ХГСН2МА та 20Х3МВФ.

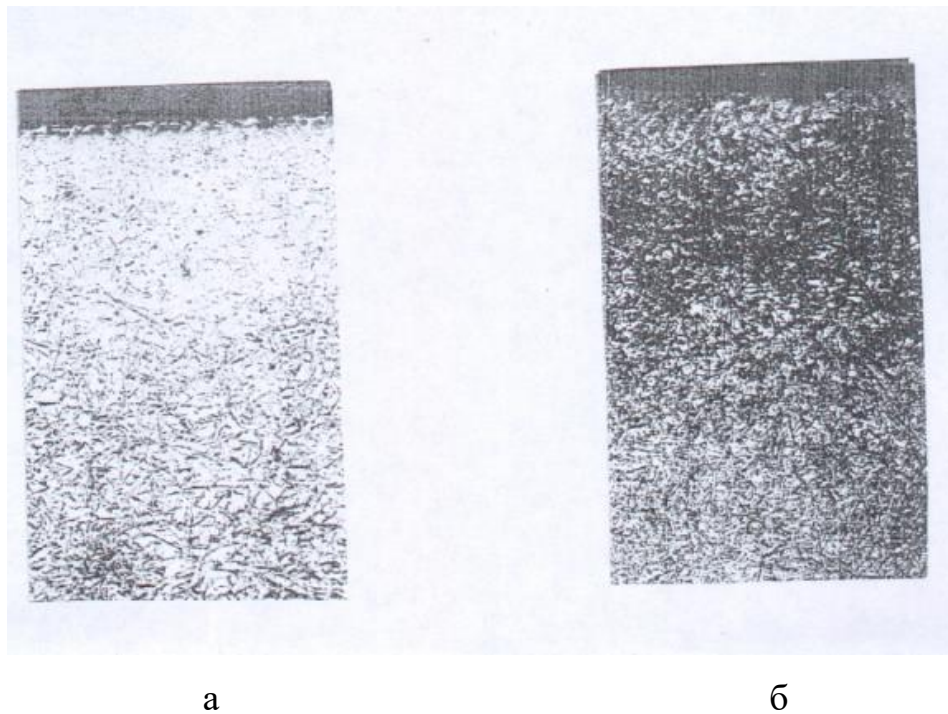
Значне підвищення вмісту вуглецю в дифузійному шарі сталі 20Х3МВФ пояснюється впливом карбідоутворюючих елементів на термодинамічну активність вуглецю в сталі. Всі карбідоутворюючі елементи знижують термодинамічну активність вуглецю в аустеніті, а термодинамічна активність прямо пропорційна парціальному тиску вуглецю над аустенітом. Таким чином, зменшуючи парціальний тиск вуглецю над аустенітом, карбідоутворюючі елементи складають умови для підвищення вуглецевого потенціалу середовища.

Тобто при одному і тому ж складі науглецьовуючого середовища та при однаковому парціальному тиску середовища, вуглецевий потенціал для сталей з карбідоутворюючими елементами буде вище вуглецевого потенціалу для сталей, що містять кремній та нікель, що викликають підвищення термодинамічної активності вуглецю в аустеніті.

Ще одна особливість нітроцементациї теплостійких сталей пов'язана з сумісним насиченням вуглецем та азотом. Встановлено, що підвищення вмісту вуглецю в розчині підвищує термодинамічну активність азоту і таким чином зменшує азотний потенціал середовища, та, навпаки, підвищення вмісту азоту в розчині викликає підвищення термодинамічної активності вуглецю в аустеніті та зменшує вуглецевий потенціал середовища.

Тобто, якщо в складі теплостійкої сталі містяться елементи, що зменшують термодинамічну активність вуглецю в аустеніті, це призводить до підвищення вмісту вуглецю в шарі, в цей же час вміст азота в дифузійному шарі зменшується.

Мікроструктура дифузійного шару (рисунок 3.5.) свідчить про інтенсивне утворення карбідів та карбонітридів на більш значній глибині шару у сталі з карбідоутворюючими елементами (20Х3МВФ)



а - 14ХГСН2МА; б - 20Х3МВФ

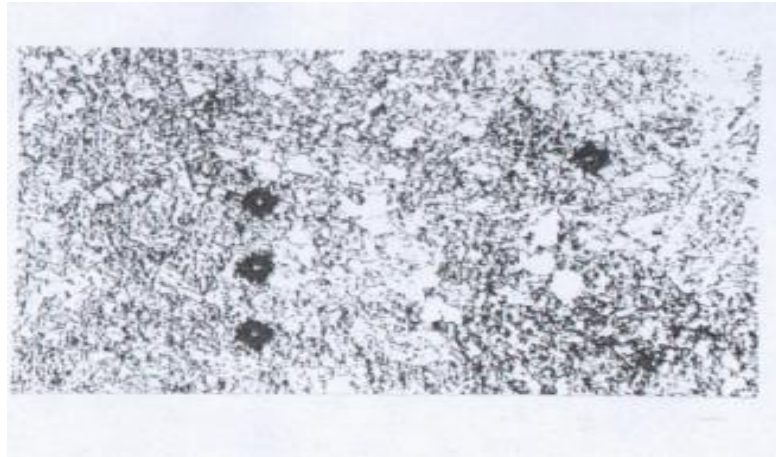
Рисунок 3.5. – Мікроструктура нітроцементованої сталі

### 3.3 Вибір оптимальної глибини шару нітроцементзації

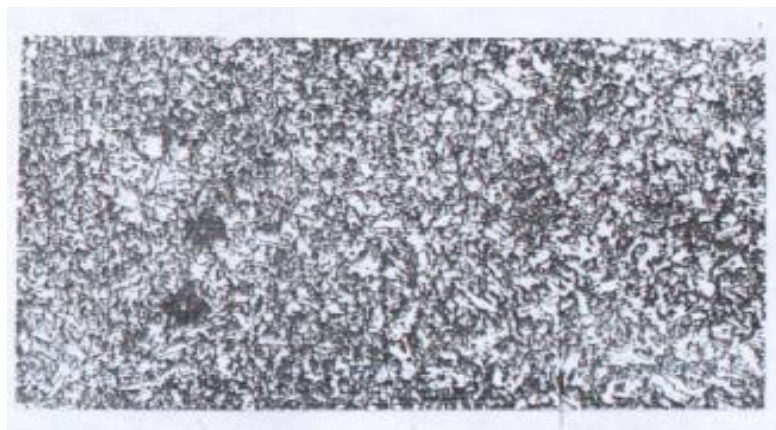
Найбільш високі показники ( межа витривалості при статичному згині, ударна в'язкість та втомна міцність ) при випробуванні зразків та шестерен відповідають глибині нітроцементованого шару 0,5-0,8 мм. Зменшити глибину

нітроцементованого шару можна за рахунок підвищення твердості та міцності перехідної зони.

Мікроструктура перехідної зони, що визначає границю дифузійного шару при цементації та нітроцементації, наведено на рисунку 2.6



а



б

а - цементованого шару сталі; б - нітроцементованого шару

Рисунок 3.6 – Мікроструктура перехідного шару

Перехідна зона при нітроцементації характеризується наявністю дрібнозернистого перліта з невеликими відрізками фериту. Подрібнення зерна перліта та особлива структура ферта пояснюється наявністю у фериті азоту. Мікроструктура перехідної зони після цементації має звичайну ферито - перлітну суміш, де добре видно границю дифузійного шару, що визначається серединою перехідної зони.

Для визначення різниці в твердості та міцності перехідної зони після цементації та нітроцементації було проведено заміри твердості на загартованих зразках. Результати заміру наведено на рисунку 3.7

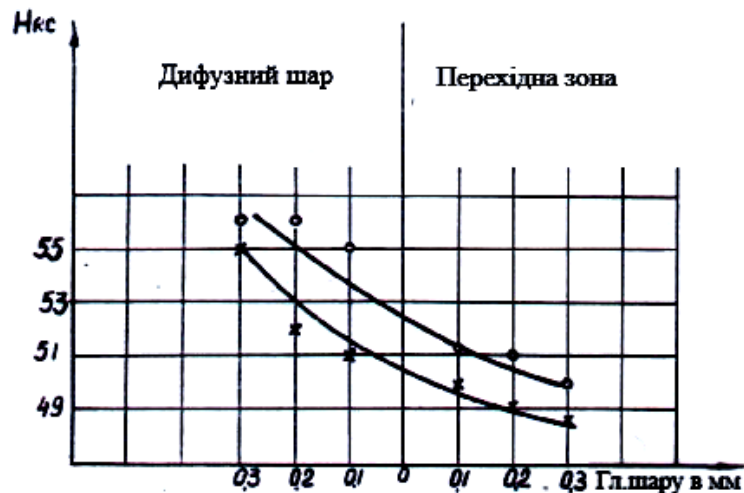


Рисунок 3.7 – Твердість перехідної зони нітроцементованого та цементованого шарів (нітроцементация з безпосереднім гарту, обробка холодом  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відпуск  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Цементация, відпал, гарт, обробка холодом  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відпуск  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

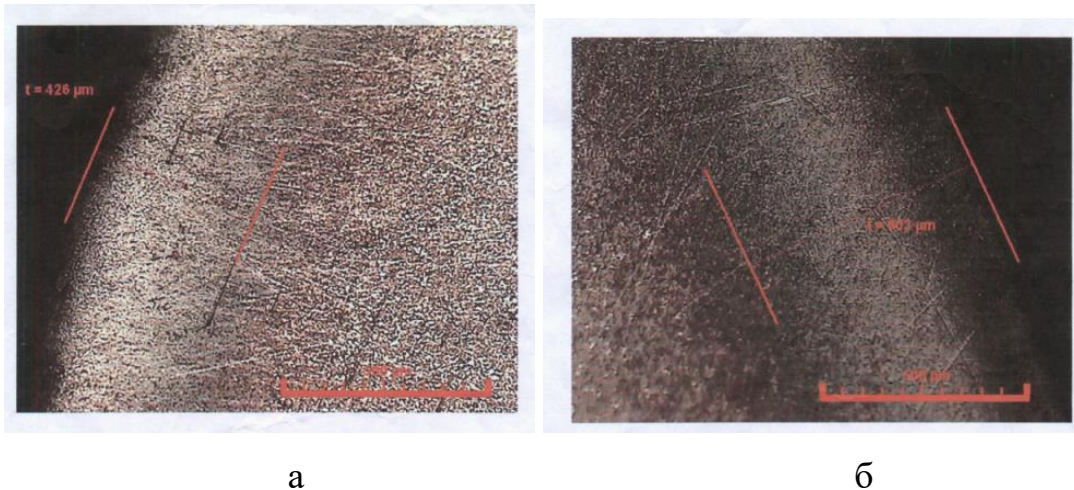
Це підтверджує можливість зниження глибини дифузійного шару при нітроцементації в порівнянні з цементацією.

Твердість нітроцементованих шарів, як правило не перевищує на поліпшених легованих сталях HV 700. Однак, не зважаючи на порівняно невеликі значення мікротвердості, зносостійкість поверхні сталі після насичення різко підвищується.

З підвищенням вмісту азоту в шарі, ефект зчеплення при сухому терті менший, ніж у сталей, що не піддаються ХТО. Вуглець карбонітридного шару має таку ж дію. Наявність карбонітридного шару різко зменшує коефіцієнт тертя металу по металу, зменшує зчеплення та покращує припрацьовуваність.

Якість шарів при нітроцементації залежить від ступеня насичення поверхні вуглецем та азотом.

Значне зниження властивостей при збільшенні вмісту азоту пов'язано з утворенням в структурі нітроцементованого шару темної складової, що уявляє собою дрібну сітку пор (тріщин), що утворюються в результаті розпаду азотистих фаз та виділенням молекулярного азоту. Для нітроцементованого шару характерний високий вміст залишкового аустеніту (рис. 3.8).



а - сталь 12X2H4A; б - сталь 14XГСН2МА

Рисунок 3.8 – Мікроструктура поверхневого шару нітроцементованої сталі

Він залежить від хімічного складу сталі. В легованій сталі він значно вищий ніж у вуглецевій. Марганець більш ефективно підвищує вміст залишкового аустеніта, ніж хром. Тому найбільша кількість залишкового аустеніту є в марганцевій сталі.

3.4 Особливості цементації і структури легованих сталей. вплив концентрації вуглецю на механічні властивості цементованої сталі

Процес цементації широко застосовують у промисловості завдяки його високій ефективності та доступності. Він дозволяє створювати на робочій поверхні деталі шар, що має після гартування високу твердість, зносостійкість,

ерозійну стійкість, контактну витривалість і втомну міцність. Ці властивості забезпечуються при відносно м'якій і в'язкій серцевині, що надає необхідну конструктивну міцність оброблюваним деталям.

Цементация - процес хіміко-термічної обробки сталевих деталей, насичення їх поверхні С на певну глибину. Цементация здійснюється шляхом нагрівання сталевих деталей в насичуючому середовищі до температури аустенітного стану при оптимальному значенні абсорбції С. При цій температурі здійснюється витримка, тривалість якої залежить від необхідної глибини цементованого шару, після чого деталі охолоджують з різною швидкістю (або безпосереднє гартування).

Цементовані деталі піддаються гартуванню і низькому відпуску.

В результаті цементации відбувається зміна концентрації С від поверхні до серцевини і зміна механічних властивостей після термічної обробки шару і деталі в цілому - підвищення зносостійкості, границі витривалості і границі міцності поверхневого шару. Розподіл концентрації С по глибині є функцією температури, тривалості, активності карбюризатора та інших факторів. Швидкість дифузії С в Ф найменша, а в А найбільша, тому процес цементации сталі проводиться при температурах вище  $A_{C3}$  (900-940 °С), при цьому температура є одним з факторів підвищення ефективності процесу.

Числові значення коефіцієнта дифузії С в А залежать: а) від температури; б) від початкового вмісту С в сталі; в) від легуючих елементів (Si гальмує процес науглецювання внаслідок утворення плівки оксидів на поверхні деталі).

За глибину цементованого шару слід приймати суму заевтектоїдної, евтектоїдної і половини перехідної зон. Це відповідає вмісту 0,45-0,5%С і структурі (після гартування) з твердістю HRC 40-45. Цементований шар в поверхневій зоні при вказаній концентрації С після гартування повинен мати структуру дрібногочастого мартенситу. При підвищеному вмісті С, особливо в легованій сталі, можливе утворення карбідів, що виділяються іноді по межах зерен. В легованих сталях (хромонікелевих) температура кінця мартенситного

перетворення знаходиться нижче нуля і в структурі цементованого шару присутній аустеніт залишковий (Азал).

Значна кількість карбідів і Азал в цементованому шарі негативно впливають на експлуатаційні властивості деталей. Глибина цементованого шару (мм) залежить від температури і тривалості цементації ( $\tau$ , год).

Фізико-хімічний механізм перенесення вуглецю в процесі цементації

Вуглець розчиняється в гратці  $\alpha$ - та  $\gamma$ -заліза лише в тому випадку, якщо його хімічний потенціал ( $\mu$ ) в насичуючому середовищі вищий, ніж в залізі (сталі), тобто існує різниця потенціалів  $\mu_{\text{Cp}}^{\text{c}} - \mu_{\text{Fe}}^{\text{c}} > 0$  [12].

В процесі науглецювання заліза (сталі) джерелом активного вуглецю є оксид вуглецю. Взаємодія між С і  $\text{CO}_2$  описується реакцією [12]



Константа рівноваги для цієї реакції  $K_p$ :

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2} \cdot a_{\text{C}}}{P_{\text{CO}}^2}, \quad (3.2)$$

де  $P_{\text{CO}_2}$  и  $P_{\text{CO}}$  - парціальний тиск відповідно для  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ;

$a_{\text{C}}$  – активність вуглецю (для (3.1)  $a_{\text{C}} = 1$ ).

На рис. 3.1 наведена діаграма рівноваги для реакції (3.1), з якої видно, що з підвищенням температури відношення  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$  зсувається в бік  $\text{CO}$ .

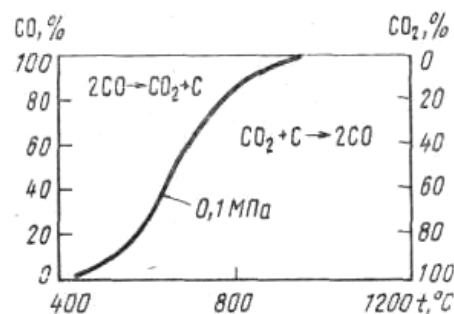
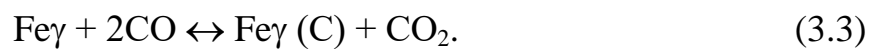


Рисунок 3.1 – Діаграма рівноваги для реакції  $2\text{CO} \leftrightarrow \text{C} + \text{CO}_2$  [12]

Як видно з рівняння реакції (3.1), в ній бере участь чистий вуглець, активність якого максимальна і дорівнює одиниці.

Насичення вуглецем заліза (сталі) відбувається при температурах  $\gamma$ -області. Тому при цементації як учасник реакції повинен враховуватися твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі (аустеніт). Якщо процес протікає в області аустеніту  $Fe\gamma$  (C) в системі Fe-Fe<sub>3</sub>C, то реакція має вид



Константа рівноваги для цього випадку

$$K_p = \frac{P_{CO_2} \cdot a_c}{P_{CO}^2}, \quad (3.4)$$

де  $a_c$  - активність розчиненого вуглецю вже не дорівнює одиниці.

Отже, при температурах цементації, коли дифузія здійснюється в області аустеніту, умови рівноваги реакції цементації (3.3) визначаються не тільки співвідношенням парціальних тисків складових компонентів атмосфери (CO, CO<sub>2</sub>), а і активністю вуглецю  $a_c$  відповідно до рівняння (3.4). Для визначення активності вуглецю в аустеніті можна користуватися таким рівнянням [12]:

$$\ln a_c = \lg \left( \frac{N_c}{1-5N_c} + 0,9N_c^2 \right) + \frac{2105}{T} - 0,6735 \quad (3.5)$$

де  $N_c$  — атомна частка вуглецю;  $T$  — температура, К.

Як видно з рис. 2.2, чим більше в аустеніті вуглецю і нижче температура, тим вище значення  $a_c$ . При досягненні лінії ES граничної розчинності вуглецю в аустеніті величина  $a_c = 1$ ; при  $a_c > 1$  з аустеніту виділяється цементит. Наведені

дані дозволяють в умовах рівноваги визначити співвідношення між концентрацією вуглецю в аустеніті і складом насичуючої атмосфери.

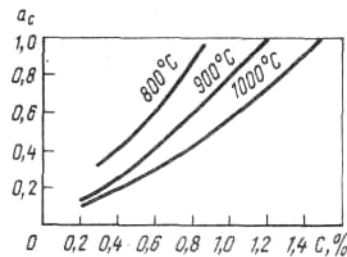


Рисунок 3.2 – Залежність активності  $a_c$  від вмісту вуглецю в аустеніті та температури [12]

Насичуючу дію атмосфери при цементації оцінюють вуглецевим потенціалом  $\pi_C$ , який показує, яка концентрація вуглецю може бути досягнута в аустеніті в даній атмосфері, при тій чи іншій температурі. Вуглецевий потенціал пропорційний активності вуглецю  $a_c = k_C \pi_C$ . Цементуюча здатність атмосфери також характеризується інтенсивністю науглецювання. Мірою інтенсивності науглецювання є коефіцієнт масопереносу  $\beta$  (м/с). На цей коефіцієнт значний вплив має склад насичуючої атмосфери, зокрема водень, та порівняно невеликий вплив - температура. Величина  $\beta$  в суміші CO-CO<sub>2</sub> не велика ( $0,54 \text{ м/с} \cdot 10^{-9}$ ), але значно зростає в ендогазі ( $100\text{-}130 \text{ м/с} \cdot 10^{-9}$ ). Між коефіцієнтом  $\beta$  і добутком  $p_{CO} p_{H_2}$  існує пряма залежність.

Атоми інших елементів, розчинених в аустеніті, внаслідок розвитку міжатомної взаємодії впливають на  $a_c$ .

За Вагнером вплив легуючих елементів на активність C в аустеніті може бути представлений наступним рівнянням:

$$\ln \gamma_C^{\varepsilon^x} = \ln \gamma_C + N_3 \varepsilon_C^3 + N_4 \varepsilon_C^4 + \dots + N_n \varepsilon_C^n,$$

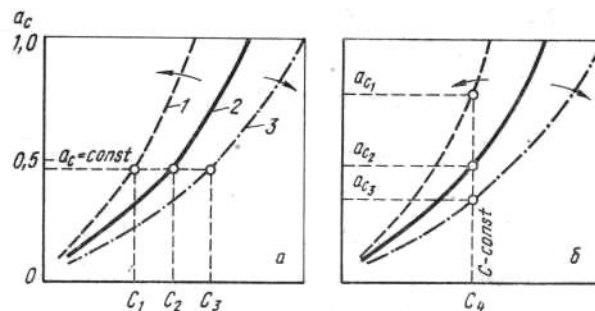
де  $\gamma_c^{\varepsilon^x}$  — коефіцієнт активності розчиненого вуглецю під впливом легуючих елементів  $X_3, X_4 \dots X_n$ ;

$N_3, N_4 \dots N_n$  — атомні частки легуючих елементів;

$\varepsilon_c^x$  — параметр, який враховує взаємодію вуглецю з легуючими елементами, розчиненими в аустеніті:

$$\varepsilon_c^x = (\partial \ln \gamma_c) / \partial N_x$$

При обробці сталі різного складу в атмосфері з певною активністю вміст вуглецю на поверхні буде неоднаковим. Розчинені легувальні елементи впливають на масоперенос (рис. 3.3).



а – при постійній активності  $a_c$  на вміст вуглецю  $C$ ; б – при постійному вмісті вуглецю  $C_4$  на значенні  $a_c$ ; 1 – легуючі елементи, які підвищують  $a_c$  (Ni; Co; Si; N); 2 – чисте залізо-вуглець; 3 – елементи, які знижують  $a_c$  (Cr, Mo, Mn, W, Ti, V)

Рисунок 3.3 – Схема впливу легуючих елементів на активність C в А  $a_c$  [12]

В сталях, легованих Ni, Si, Co, V та ін., які підвищують  $a_c$  (рис. 3.3), вміст вуглецю буде нижче ( $c_1$ ), ніж в сталях, що містять карбідоутворюючі елементи (Cr, Mo, W, Mn, Ti, V та ін.), що знижують активність вуглецю ( $c_3$ ).

Для отримання заданої концентрації вуглецю сталі, леговані елементами, що по-різному впливають на активність вуглецю, необхідно цементувати в атмосфері з різною активністю.

Цементацію ділять на газову, цементацію з твердої фази, цементацію з паст. Доцільніше застосовувати газову цементацію.

Діаграми рівноваги газів CO та CO<sub>2</sub> з залізом і його оксидами (рис. 3.4) і діаграма Такахаші - діаграма рівноваги між вмістом C в А і газовим середовищем, що складається з CO і CO<sub>2</sub> при різній температурі (рис. 3.5), визначають напрямки реакцій, які можуть проходити в процесі цементації.

Газове насичуюче середовище на основі CO-CO<sub>2</sub> містить в невеликих кількостях CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O, які також можуть брати участь в реакціях і прискорювати або гальмувати процес науглецювання. Для регулювання процесу цементації важливі умови рівноваги основних реакцій і їх константи рівноваги.

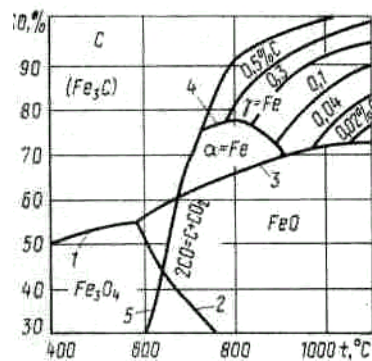


Рисунок 3.4 – Діаграма рівноваги газів CO і CO<sub>2</sub> з залізом та його оксидами: 1, 2 — границя області утворення Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, 3 — границя області цементації і утворення FeO; 4 — границя області α- і γ-фаз, 5 — ізобара реакції при p = 0,1 МПа [13]

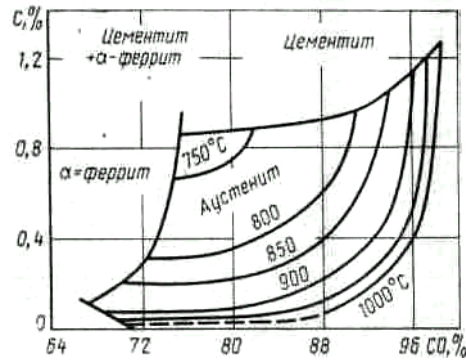
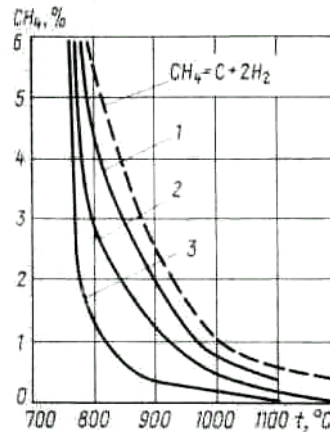


Рисунок 3.5 – Діаграма рівноваги між сумішшю CO-CO<sub>2</sub> та С в А при різних температурах [13]

Застосування для цементації вуглеводневих систем C<sub>n</sub>H<sub>2n+n</sub> (граничні вуглеводні), C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> (ненасичені вуглеводні) і C<sub>2</sub>H<sub>2n-n</sub> (ацетиленовий ряд) забезпечує протікання процесу науглецювання з високою швидкістю. Розкладання метану починається при 800 °С (рис.3.6). Рівновага між CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> і С показано пунктирною лінією. Цією ж кривою визначається рівновага між аустенітом, насиченим вуглецем і газовою фазою.



1 — 0,92% С; 2 - 0,5% С; 3 — 0,16% С

Рисунок 3.6 - Рівновага CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub> з аустенітом різного складу [13]

Стан рівноваги в складній системі описує діаграма Неймана. Вона характеризує залежність концентрації С в А від парціального тиску в атмосферах H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> і CO-CO<sub>2</sub>, а також границю між атмосферами, в яких виділяється сажистий С або в яких він перебуває у складі газоподібних сполук.

Цементация з використанням природного газу забезпечує досить високу швидкість насичення. При цьому більшу насичуючу здатність має дашавський газ, який містить 98%  $\text{CH}_4$ . Присутність невеликої кількості вологи, кисню і вуглекислого газу не має істотного впливу на результати цементации. Більш того, пари води, кисень і вуглекислий газ при температурі цементации реагують з метаном і вуглецем, що виділяється при дисоциации метану, і зменшують утворення сажі на поверхні деталей. Витрати газу необхідно підбирати з урахуванням активної поверхні оброблюваних деталей. Перевага безпосереднього використання природного газу - не потрібно проводити попередню обробку газу у спеціальних установках, що спрощує і здешевлює ведення процесу цементации. Недолік - труднощі регулювання процесу, можливість виділення сажі.

Ендотермічну атмосферу отримують шляхом спалювання природного газу в генераторах з нестачею повітря (коефіцієнт витрати повітря  $\alpha = 0,25$ ). Склад ендогазу, отриманого з використанням каталізатора ГИАП-3, наступний, %:  $\text{CO}$  19-23;  $\text{H}_2$  34-44;  $\text{N}_2$  33-37;  $\text{CH}_4$  <1;  $\text{O}_2$  <0,2;  $\text{CO}_2$  <0,2.

Контроль складу атмосфери ведуть за вмістом водяної пари.

До ендотермічного газу додають деяку кількість необробленого газу (природного, пропану, бутану та ін.). Висока науглецювальна здатність подібних сумішей, умови надійного контролю вуглецевого потенціалу, слабкі його коливання при зміні температури і тиску, можливість проведення процесу науглецювання при підвищених температурах забезпечили широке використання ендогазу.

### 3.6 Механізм утворення, будова і властивості цементованого шару [12,14]

Формування цементованого шару. Дифузія вуглецю в залізо можлива тільки в атомарному стані. Атомарний вуглець утворюється в насичуючій

атмосфері, адсорбується поверхнею сталі і дифундує в глиб металу. Якщо насичення проводиться при температурі  $t_t$  (рис. 3.7), що знаходиться нижче евтектоїдної, то спочатку утворюється твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі. Після досягнення граничної розчинності (точка а на рис. 3.7) на поверхні утворюється цементит. Незважаючи на значну дифузійну рухомість С в  $\alpha$ -залізі ( $Q = 80,26$  кДж/г·атом,  $D_0 = 0,62 \cdot 10^{-6}$  м/с) цементацію нижче  $A_1$  не проводять, так як ферит розчиняє дуже мало С і цементований шар складається тільки з дуже тонкої корочки цементиту.

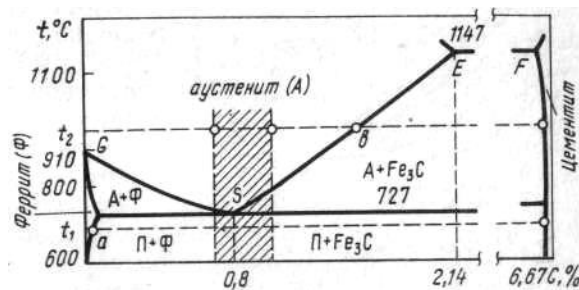


Рисунок 3.7 – Схема діаграми стану. Штрихована область – рекомендовані концентрації вуглецю на поверхні цементованого шару

Цементацію проводять при температурах вище  $A_3$  (рис. 3.7, температура  $t_2$ ). У цьому випадку вуглець дифундує в гратку  $\gamma$ -заліза. По досягненні граничної розчинності С в аустеніті (лінія SE) на поверхні утворюються зародки цементиту. Зростання зародків карбиду вздовж поверхні протікає з більшою швидкістю, ніж в глиб металу, в результаті чого на поверхні утворюється суцільний карбідний шар; іноді цементит проникає вглиб у вигляді «вусів» по межах аустенітних зерен.

На рис. 3.8 показаний характер розподілу концентрації вуглецю по товщині дифузійного шару після цементації в активному карбюризаторі в різний час. Точка  $C_{\max}$  відповідає максимальній розчинності С в А (лінія SE).

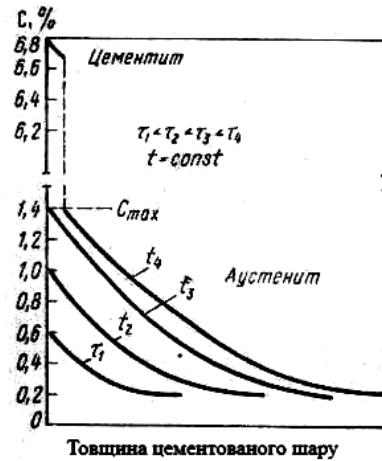


Рисунок 3.8 – Схема зміни концентрації вуглецю по товщині цементованого шару в залежності від тривалості процесу насичення при 950 °С

Утворення в процесі дифузії двохфазного шару (аустеніт – цементит) на вуглецевій сталі практично неможливий.

При цементації в виробничих умовах карбідний шар, як правило, відсутній і концентрація вуглецю в поверхневій зоні не перевищує граничної розчинності в аустеніті при даній температурі (рис. 3.7). В цьому випадку дифузія відбувається тільки в аустеніті, який при подальшому повільному охолодженні зазнає розпаду з утворенням ферито-цементитної структури.

Цементований шар має змінну концентрацію вуглецю по товщині, яка знижується від поверхні до серцевини деталі (рис. 3.8). Тому після повільного охолодження в структурі цементованого шару можна розрізнити (від поверхні до серцевини) три зони (рис. 3.9): заевтектоїдну 1, що складається з П і Ц<sub>ц</sub>, який утворює сітку по колишньому зерну А; евтектоїдну 2, що складається з пластинчастого П, і доевтектоїдну 3 - з П і Ф. Кількість фериту в цій зоні безперервно зростає від поверхні до серцевини. При високій концентрації С на поверхні шару (>1,2-1,3%) утворюється груба цементитна сітка або цементит виділяється у вигляді голок, що негативно позначається на міцності дифузійного шару.

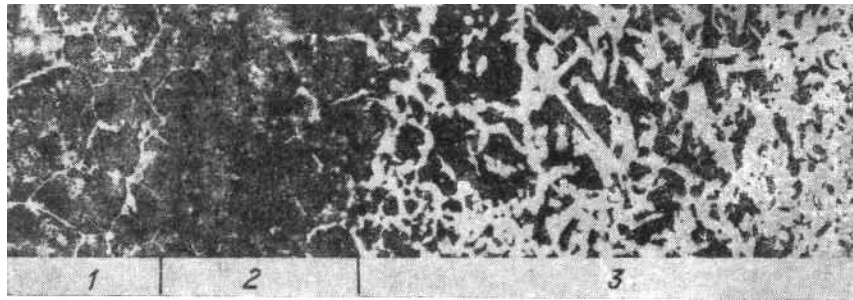


Рисунок 3.9 – Мікроструктура цементованого шару для сталі 20.  $\times 200$

При ХТО сталі для описання кінетики утворення і будови дифузійного шару користуватися бінарними діаграмами стану не можна. Для двокомпонентних сплавів послідовність утворення фаз і їх склад в першому наближенні (без врахування того, що відбувається при ХТО дифузійний перерозподіл елементів сплаву) можна простежити за допомогою потрійної діаграми стану або за її ізотермічним розрізом при температурі насичення. При насиченні сталі С швидкість дифузії вуглецю значно більша за швидкість дифузії легувальних елементів, дифузія яких практично не впливає на кінетику формування дифузійного шару і склад фаз, які утворюються.

Аустенітно-карбідна зона в цементованому шарі виникає лише при легуванні сталі карбідоутворюючими елементами, в першу чергу хромом. Карбіди починають утворюватися на поверхні на межах і стиках зерен. Із збільшенням часу виділення карбідів відбувається і всередині зерна, двофазна область поширюється на деяку глибину.

Надлишкові карбіди мають глобулярну форму. При легуванні сталі V (1-4%) або Ti (0,2-2,0%) утворюються точкові або голкоподібні карбіди VC і TiC та цементитна сітка. Марганець не утворює зернистих карбідів. На поверхні утворюється цементитна корочка, що переходить у сітку. При утворенні аустенітно-карбідної зони середня концентрація вуглецю на поверхні цементованого шару значно перевищує граничну розчинність С в аустеніті  $c_{\max}$ . Утворення карбідів веде до збіднення аустеніту легуючими елементами.

В межах аустенітно-карбідної зони концентрація легуючих елементів в аустеніті зростає від поверхні вглиб, тому висока концентрація вуглецю в шарі

приводить до зменшення прогартовуваності. Це пов'язано з зародковою дією карбіду на розпад аустеніту і зниженням його стійкості внаслідок переходу легуючих елементів в карбід.

Дифузійна рухомість  $C$  в  $\gamma$ -залізі значно нижче, ніж в  $\alpha$ -залізі.

Залежність ефективного коефіцієнта дифузії (в  $\text{м}^2/\text{с}$ )  $C$  в  $A$  від температури і концентрації вуглецю визначається рівнянням (М.Е.Блантер):

$$D_C^y = (0,04 + 0,08\%C) \exp\left(-\frac{131}{RT}\right) \cdot 10^{-4}, R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Чи рівнянням (за даними Уэллса та Мела):

$$D_C^y = (0,07 + 0,06\%C) \exp\left(-\frac{134}{RT}\right) \cdot 10^{-4}$$

Результати вимірювання коефіцієнта дифузії  $D_C$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ,  $C$  в  $A$  при різних концентраціях показані на рис. 3.10. Дифузійна рухомість  $C$  залежить від складу  $A$ . Легування сталі може збільшити або зменшити коефіцієнт дифузії.

Карбідоутворюючі елементи ( $Si$ ,  $W$ ,  $Cr$  та ін.) збільшують енергію активації  $Q$  (рис. 3.11, а) і предекспоненціальний множник  $D_0$  і зменшують ефективний коефіцієнт дифузії  $D$  (рис. 3.11, б). Енергія активації зростає тим сильніше, чим більше сила зв'язку елемента та  $C$  і чим менше легуючі елементи спотворюють ґратку  $A$ .

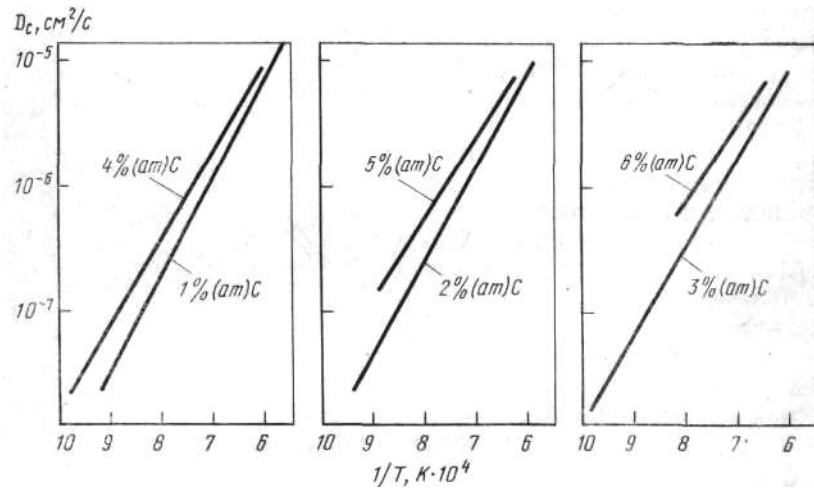


Рисунок 3.10 - Залежність  $D = f(1/T)$  для дифузії вуглецю в аустеніті з різною концентрацією вуглецю

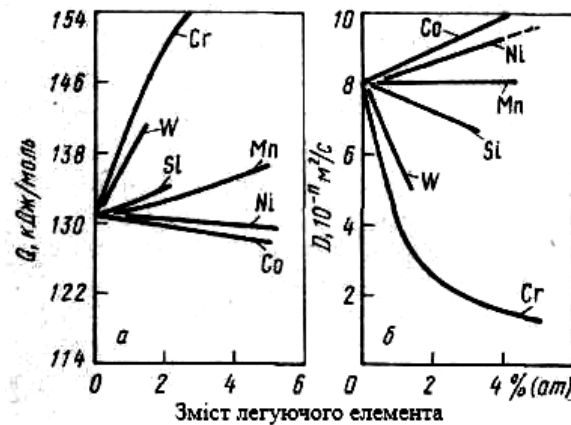


Рисунок 3.11 - Вплив легуючих елементів на енергію активації  $Q$  (а) та коефіцієнт дифузії вуглецю в аустеніті (б) при  $1100^\circ\text{C}$  (М. Е. Блантер)

Легування сталі некарбідоутворюючими елементами  $\text{Ni}$  і  $\text{Co}$  збільшує ефективний коефіцієнт дифузії  $C$  в  $A$  і зменшує енергію активації (рис. 3.11, а) при незначній зміні  $D_0$ . Кремній при відносно низьких температурах (нижче  $1050^\circ\text{C}$ ) прискорює дифузію  $C$ , збільшуючи ефективний коефіцієнт дифузії.

Сила зв'язку некарбідоутворюючих елементів з  $C$  менша, ніж з залізом, тому вони не можуть ускладнити його дифузію. З іншого боку, вони спотворюють кристалічну ґратку  $A$ , підвищують його вільну енергію. Некарбідоутворюючі елементи прискорюють дифузію тим сильніше, чим більше вони спотворюють ґратку  $A$ .

Легуючі елементи неоднаково впливають на коефіцієнт дифузії і концентрацію  $C$  в поверхневому шарі. Тому вплив їх на товщину шару залежить від того, який з цих двох факторів буде переважати. Хром і вольфрам зменшують  $D_C^y$  але збільшують концентрацію вуглецю на поверхні  $C_0$ , трохи підвищують товщину шару. Нікель, навпаки, збільшує  $D_C^y$ , але зменшує концентрацію вуглецю на поверхні і тому зменшує товщину шару. Однак легуючі елементи в тих кількостях, в яких вони знаходяться в цементованих сталях, мало впливають на товщину шару.

В цементованій сталі в поверхневому шарі іноді спостерігається темна складова, яка має вигляд сітки і глобулей. Це пояснюється тим, що при цементації в сталь дифундує не тільки  $C$ , але і  $O_2$ , концентрація якого в поверхневій зоні шару досягає 0,25-0,30%. Темна складова з'являється в результаті внутрішнього окислення легуючих елементів, що мають більшу високою спорідненістю до кисню, ніж залізо (наприклад,  $Cr$ ). Внутрішнє окислення відбувається завдяки дифузії атомів кисню в залізі і зустрічній дифузії атомів легуючих елементів. Хром взаємодіючи з киснем утворює дисперсні оксиди. Нікель не окислюється.

Утворення оксидів призводить до збіднення аустеніту легуючими елементами, що зменшує його стійкість, а отже прогартуваність. Одночасно відбувається зниження вуглецю в твердому розчині. Саме оксиди виконують роль готових зародків, а також сприяють розпаду переохолодженого аустеніту і утворенню немартенситних продуктів його розпаду. Після гартування в зоні внутрішнього окислення утворюється характерна троститна сітка («м'які плями»). Це призводить до зниження механічних властивостей (знижується границя витривалості і поверхнева твердість).

Внутрішнє окислення можна усунути добиранням відповідного насичуючого середовища. В кінці процесу цементації рекомендується додавати в робочий простір печі 5-10%  $NH_3$ . Азот підвищує стійкість переохолодженого аустеніту. Крім того, цей дефект може бути усунутий шліфуванням. Також до

складу сталі доцільно вводити елементи, які не беруть участі в окислюванні (наприклад, нікель). Поява троститної сітки може також бути наслідком недостатнього насичення (знижений вміст вуглецю в шарі).

Аномальний вид структури заевтектоїдної зони цементованого шару виражений в наявності поряд зі структурно вільним  $\Psi$  структурно вільного  $\Phi$  у вигляді сітки, який оточує сітку  $\Psi$ , або у вигляді окремих включень. Частинки цементиту в такій структурі збільшується внаслідок зменшення вмісту вуглецю в сусідніх ділянках структури. Сталь з такою структурою називається аномальною.

Аномальна структура в очищеному від  $O_2$  залізі, цементованому в карбюризаторі з незначною кількістю кисню, не утворюється. Аномальність чистого заліза і сталі з невеликим вмістом  $O_2$  завжди пов'язана з поглинанням  $O_2$  при нагріванні перед цементациєю в середовищі, що містить  $O_2$ , або при цементациї в карбюризаторі, що містить велику кількість  $O_2$ .

Аномальна структура може утворитися внаслідок дифузії вуглецю в напрямку до раніше виділеного заевтектоїдного цементиту, чому сприяє більш висока температура початку перлітного перетворення в цій сталі.

Аномальність структури сталі чітко виявляється тільки після цементациї в твердому карбюризаторі. При газовій цементациї, що проводиться в середовищі, що містить вуглеводні, кількість  $O_2$  менша, ніж при цементациї у твердому карбюризаторі, і, отже, можливість збільшення вмісту  $O_2$  в сталі зменшується.

Причому, між двома дефектами аномалія структури і внутрішнє окислення існує залежність.

Вплив легуючих елементів на схильність сталі до аномальності пов'язаний з їх впливом на схильність до утворення сітки і глобулей оксидів на межах зерен. Внаслідок виділення цих включень зменшується стійкість  $A$  і підвищується температура точки  $Ag_1$ , що полегшує дифузію вуглецю в  $\alpha$ -залізі до частинок цементиту. Дифузія  $C$  поблизу меж зерен також прискорюється

внаслідок збіднення областей, прилеглих до меж зерен, елементами, що утворюють на межах зерен оксиди (кремній, хром, марганець).

Аномальна сталь при гартуванні схильна до утворення «м'яких плям». Для отримання рівномірної високої твердості сталь з аномальною структурою слід гартувати з більш високої температури.

Наявність в цементованому шарі структурно вільного цементиту є недоліком тільки при виділенні його у вигляді сітки, яка може привести до викришування шару при роботі. Для попередження утворення сітки підтримують необхідний вуглецевий потенціал в насичуючій атмосфері.

Властивості цементованого шару залежать від кривої розподілу вуглецю по товщині шару (рис. 3.12). Прийнято криву розподілу вуглецю по товщині шару характеризувати концентрацією вуглецю на поверхні ( $c_{\text{пов}}$ ), падінням вмісту вуглецю  $\Delta c_x = c_{\text{пов}} - c(x_e/3)$  на відстані, рівній 1/3 частини ефективної товщини шару ( $x_e/3$ ), і наявністю знеуглецьованої ділянки на поверхні виробу.

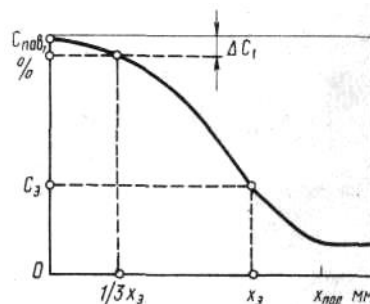


Рисунок 3.12 – Розподіл вуглецю за товщиною цементованого шару

Залежно від умов роботи, розмірів і матеріалу деталей машин для забезпечення оптимальної конструктивної міцності задаються певними значеннями  $c_{\text{пов}}$ ,  $\Delta c_x$  і  $x_e$ .

Для отримання високого опору зношенню, крихкому руйнуванню, втомі при згині концентрація  $C$  в поверхневому шарі повинна бути в межах 0,8-1,0%. Більш високі концентрації  $C$  на поверхні викликають погіршення механічних властивостей. Щоб гарантувати заданий допуск на шліфування без істотної втрати твердості і високі механічні властивості, градієнт вуглецю по товщині

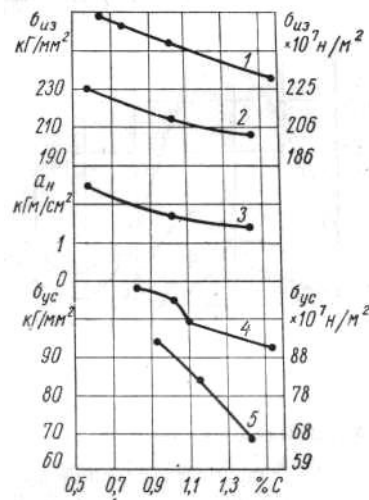
не повинен бути різким, особливо в області, що примикає до поверхні насичення.

Товщина шару, де має місце незначне падіння вмісту вуглецю («горизонтальний майданчик»), визначається падінням концентрації вуглецю  $\Delta c_1$  на  $x_c/3$  і повинна задовольняти нерівності  $\Delta c_1 < (\alpha/100) \cdot c_{\text{пов}}$  (рис. 3.12). Допустиме падіння концентрації вуглецю по товщині шару  $\alpha$  залежить від характеру роботи деталі і лежить в межах  $\alpha = 5-10\%$ .

Зневуглецювання на поверхні (зниження концентрації вуглецю) погіршує механічні властивості і не допускається.

Для отримання необхідної кривої розподілу вуглецю по товщині шару  $C(x)$  необхідно правильно підбирати і з достатньою точністю підтримувати основні технологічні параметри процесу цементації (температуру, тривалість насичення, активність атмосфери і т. д.).

Як вже вказувалося, оптимальний вміст вуглецю в поверхневій зоні цементованого шару сталей 0,8-1,0%; при такій його кількості сталь має високу зносостійкість. Подальше збільшення вмісту вуглецю зменшує границю витривалості і міцності сталі при статичних і динамічних випробуваннях (рис. 3.13). При цьому після термічної обробки цементований шар повинен мати структуру дрібногочастого або скритокристалічного мартенситу з дрібними глобулями карбідів і невеликою кількістю залишкового аустеніту.



1 і 4 — сталь 12Х2Н4А; 2, 3 і 5 — сталь 18ХГТ (глибина шару 1 мм)

Рисунок 3.13 – Вплив вмісту вуглецю в цементованому шарі на механічні властивості сталі після гартування та низького відпуску

(И. С. Козловский та Ю. Ф. Оржеховский)

Цементация підвищує границю витривалості сталі. Пояснюється це виникненням в шарі залишкових напружень стиснення в зв'язку з неоднаковою зміною об'єму шару і серцевини сталі в процесі цементації і гартування (рис. 3.14). Найбільше підвищення границі витривалості досягається при цементації на порівняно невелику глибину, коли цементований шар набуває після гартування мартенситної структури з мінімальною кількістю залишкового аустеніту, в результаті чого в шарі виникають максимальні напруження стиснення (рис. 3.15).

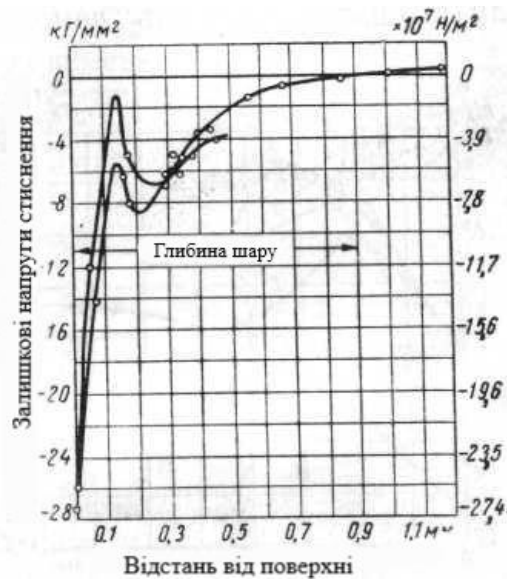
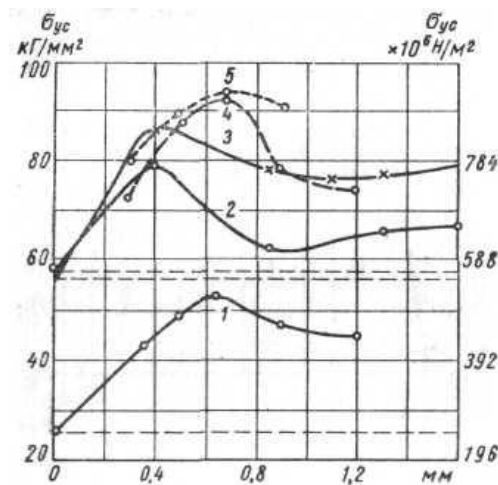


Рисунок 3.14 – Розподіл залишкових внутрішніх напружень в цементованому шарі двох зразків сталі 18ХГТ. Мінімум на кривих при глибині 0,2-0,3мм відповідає зоні шару з максимальною кількістю аустеніту (К. А. Набатова)



- 1 - діаметром 10 мм, сталь 10 (И.В. Кудрявцев, В. И. Просвирын);
- 2 - діаметром 6 мм, сталь 18Х2Н4МА (Б.Г. Гуревич, С. Ф. Юрьев);
- 3 - діаметром 6 мм, сталь 12ХН3А; 4 - діаметром 6,3 мм, сталь 18ХГТ;
- 5 - діаметром 6,3 мм, сталь 12ХН3 (К.А. Набатова)

Рисунок 3.15 – Вплив глибини цементованого шару на границю витривалості сталі (цементация при 920°C, гартування та низький відпуск)

Нікель, знижує кількість карбідів в цементованому шарі, підвищує ударну витривалість сталі. Максимальна ударна витривалість досягається при

певному співвідношенні в шарі кількості Азал і кількості М, що залежить від температури гартування та інших факторів. Так, для сталей 20ХН3А і 20Н3МА максимальна ударна витривалість досягається при повторному гартуванні з температури 780 °С. Як зниження, так і підвищення температури гартування різко погіршує ударну витривалість.

При вмісті вуглецю в поверхневій зоні шару більше 1,1-1,2% сталь схильна до утворення шліфувальних тріщин, які частіше розповсюджуються по цементитній сітці. Надмірне збільшення вмісту вуглецю в поверхневій зоні цементованого шару конструкційних сталей в більшості випадків небажано, тому що часто є причиною браку і передчасного виходу деталей з ладу.

### 3.7 Вплив вмісту вуглецю на міцність цементованої сталі [15]

Цементована сталь повинна мати не тільки високу поверхневу твердість, але і високу границю міцності серцевини. При недостатній міцності серцевини в підкірковій зоні під дією навантаження відбувається пластична деформація, що приводить до перенавантаження цементованого шару і сприяє його руйнуванню. Міцність виробу з однаковими властивостями цементованого шару при статичному згині тим більше, чим більше границя текучості серцевини.

Відомо, що підвищення вмісту С в цементованій сталі приводить до збільшення твердості і границі текучості серцевини і міцності цементованої деталі. Проте оптимальний вміст вуглецю в сталі повинен бути обмежений. Це поліпшить оброблюваність і знизить крихкість деталі, а також дозволить отримувати найбільш високу міцність в цементованій сталі.

При визначенні оптимального вмісту С необхідно враховувати не тільки твердість і міцність серцевини, але величину і знак внутрішніх напружень в цементованому шарі.

Із збільшенням вмісту С в сталі границя текучості підвищується, а різниця в зміні питомого об'єму при термічній обробці шару і серцевини зменшується. При низькому вмісті С напруження стиснення в шарі, не зважаючи на більшу різницю в зміні питомого об'єму шару і серцевини, в результаті пластичної деформації будуть незначними внаслідок низької границі текучості серцевини. Напруження стиснення в цементованому шарі, а отже, і міцність цементованої сталі будуть найбільшими при деякому середньому вмісті вуглецю в серцевині.

На твердість і границю текучості сталі впливає не тільки вміст С, але і вміст інших елементів, а також перетин оброблюваної деталі, тому оптимальний вміст С визначається ступенем легування сталі і розміром деталі.

Подалі розглянуто вплив вмісту вуглецю від 0,07 до 0,45% на міцність цементованих хромонікелевих (типу Х2Н4) і хромомарганцевотитанових (типу ХГТ) сталей (рис.3.16).

Із збільшенням вмісту С в серцевині напруження стиснення на поверхні зменшується і при вмісті С 0,36-0,44% вони змінюються на розтягуючі. На глибині 0,7 мм від поверхні у всіх випадках спостерігається тільки напруження стиснення, при цьому вони максимальні в сталі з 0,17%С, але при збільшенні вмісту вуглецю зменшуються.

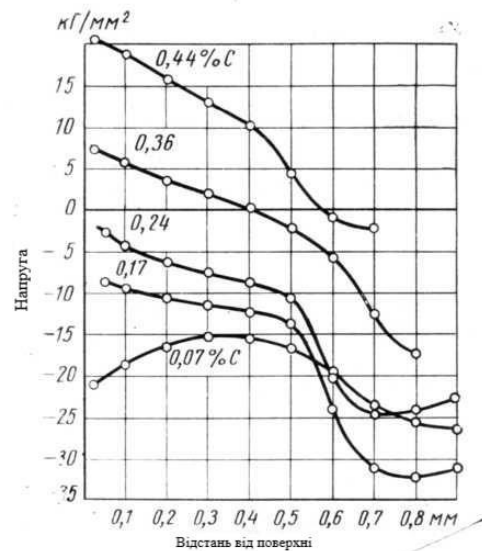


Рисунок 3.16 – Розподіл напружень по глибині цементованого шару в хромомаганцевотитановій сталі в залежності від вмісту С в серцевині

Такий же розподіл напруження спостерігається в хромонікелевій сталі Х2Н4. В цій сталі на глибині 0,1 мм від поверхні при 0,18; 0,28 і 0,38%С максимальне напруження стиснення відповідно становить 850, 880 і 770 МПа. Збільшення вмісту С в сталі ХГТ більше 0,24% викликає зниження напружень стиснення в цементованому шарі і зменшення міцності при згині цементованої сталі, проте міцність і твердість серцевини збільшуються (рис. 3.17).

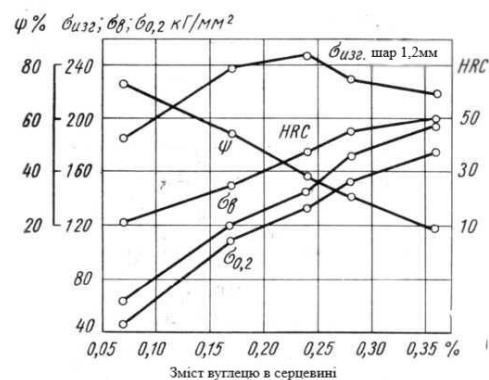
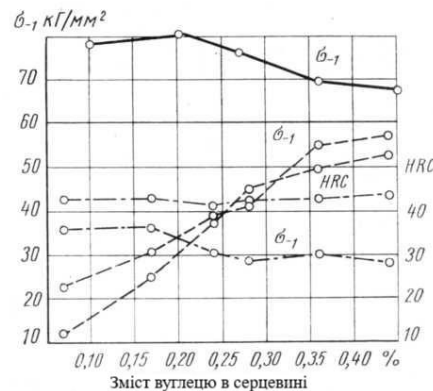


Рисунок 3.17 – Вплив вмісту С на механічні властивості хромомаганцевотитанової сталі

Максимальна границі опору втомі сталі ХГТ спостерігається при вмісті 0,20%С в серцевині і глибині шару 1,5мм. Подальше збільшення вмісту С в серцевині знижує границю опору втомі цементованих зразків, при цьому твердість і границя опору втомі серцевини із збільшенням вмісту С безперервно ростуть (рис. 3.18).



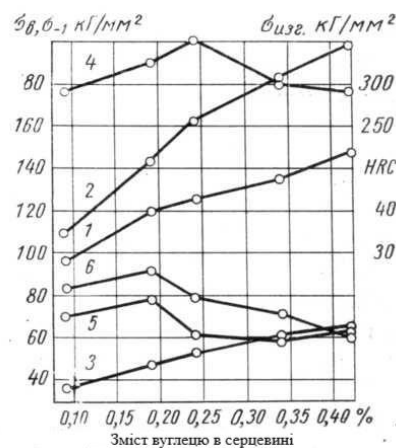
- - зразки цементовані на 1,2мм;
- - нецементовані зразки (серцевина)
- · - · - · - оброблені в слабо активному середовищі (поверхня)

Рисунок 3.18 – Вплив вмісту С в хромомарганцетитанової сталі на твердість та опір втомі цементованих зразків

Втомні зразки із вмістом від 0,07 до 0,44 %С із сталі ХГТ піддавали хіміко-термічній обробці в слабо активному середовищі з вуглецевим потенціалом 0,30-0,32%. Зразки, що містять до 0,30%С, у вказаному середовищі навуглецювалися більше, 0,32%С — зневууглецювалися. Глибина шару навуглецювання або зневууглецювання складала 0,5мм. На рис. 3.18 показана зміна твердості в серцевині і на поверхні залежно від вмісту С. У серцевині при збільшенні вмісту С твердість збільшувалася від HRC 12 до HRC 53. На поверхні твердість в цих же зразках залишалася майже постійною HRC 41- 44. Зразки після хіміко-термічної обробки в порівнянні з нецементованими мають вищій опір втомі тільки при невеликому вмісті С, тобто при навуглецюванні, що викликає появу на поверхні напруження стиснення. В

зразках з високим вмістом вуглецю (при зневуглецюванні) з'являються напруження розтягу на поверхні і опір втомі буде нижчим, ніж в нецементованих зразках.

Подібна залежність властивостей від вмісту вуглецю в серцевині спостерігається і в сталі Х2Н4 (рис. 3.19). Твердість, границя міцності і опір втомі серцевини з підвищенням від 0,09 до 0,42%С безперервно збільшуються. Опір згину цементованих на глибину 1,45мм зразків (діаметр 12мм) збільшується до змісту вуглецю 0,24%, а при подальшому підвищенні вмісту вуглецю знижується. Також змінюється і опір втомі. Зразки з шаром глибиною 1,1 і 1,6 м мали найбільший опір втомі при 0,19%С. При більш високому вмісті С опір втомі знижується та наближується до значення опору втомі нецементованого зразка (серцевини). При вмісті 0,42%С опір втомі цементованого і нецементованого зразка майже однакові.



1 – HRC серцевини; 2 –  $\sigma_v$  серцевини; 3 –  $\sigma_{-1}$  серцевини; 4 –  $\sigma_{зг}$  глибина шару 1,45мм; 5 –  $\sigma_{-1}$  глибина шару 1,1мм; 6 –  $\sigma_{-1}$  глибина шару 1,6мм

Рисунок 3.19 – Вплив вмісту С на механічні властивості хромонікелевої сталі

З вище наведеного виходить, що міцність цементованої сталі при однакових умовах визначається границею текучості серцевини та напруженнями стиснення в цементованому шарі. Також при збільшенні вмісту

С границя текучості підвищується, а напруження стиснення в цементованому шарі знижуються. Існує оптимальний вміст С, який забезпечує найбільш високу міцність сталі. Оптимальний вміст С в сталі залежить від легованості та розміру деталі. В сталях типу Х2Н4 та ХГТ для цементованих деталей незначного перерізу (діаметром 8-12мм) найбільш високий опір згину і опір втомі отримані при оптимальному вмісті С 0,19-0,24%.

Таким чином, при цементациї легованих сталей необхідно враховувати температуру процесу насичення вуглецем, вплив легуючих елементів на дифузію вуглецю, вплив вмісту вуглецю в серцевині та в поверхневому шарі на механічні властивості, вплив температури цементациї і легуючих елементів на структуру поверхневого шару. Крім того, також необхідно враховувати вплив насичуючого середовища на структуру поверхневого шару.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпечні і шкідливі фактори, які виникають при термічній обробці виробів, в першу чергу обумовлені її видом, ХТО (нітроцементация), гартування, для якої застосовується обладнання з робочим середовищем (з контрольованими атмосферами, повітряні). До основного обладнання термічних цехів відносять печі, нагрівальні та охолоджувальні пристрої. Крім основного застосовують додаткове, наприклад для правки, очищення, поверхневого зміцнення ; допоміжне обладнання: для одержання контрольованих атмосфер, засобів механізації, підйомно-транспортне, вентилятори, маслоохолоджувальні системи та контрольне: прилади контролю якості виробів, температурного режиму режиму та складу контролюючих атмосфер атмосфер.

На основі аналізу роботи існуючого обладнання, устаткування, технологічних процесів та виробництва, яке відбувається в термічному відділенні, що розроблюється можна навести такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що призводять до травмування чи пошкодження здоров'я працівників як: травмування від механізмів, поразка електричним струмом, термічні опіки, наявність надлишкового тепла.

Потенційною небезпекою може бути підвищена загазованість або запиленість повітря робочої зони. Це токсичні гази, які містяться в складі контрольованих атмосфер і вихідних газах: окис вуглецю CO, аміаку NH<sub>3</sub>, диоксиду сірки SO<sub>2</sub>., ендогазу.

При підвищеній температурі матеріалів поверхонь обладнання, підвищеному рівні теплового випромінювання можна одержати опіки: при викидах розплаву внаслідок порушення технологічного процесу; при загорянні гартівних масел; при запаленні палих газів, які застосовуються, як контрольовані атмосфери; при торканні до нагрітих виробів або частин печей; при торканні до зовнішніх частин обладнання (дверцят, ручкам, тощо),

температура яких може підвищитись внаслідок виходу з ладу теплоізоляції. Можливий опік очей при експлуатації печей, які працюють при дуже високих температурах. Перегрів і опіки можливі також за рахунок інтенсивного теплового випромінювання.

Електротермічне обладнання має струмоведучі частини безпосередньо в робочому просторі, найчастіше без електричної ізоляції. Це становить небезпеку при зіткненні з відкритими струмоведучими частинами в момент завантаження, вивантаження або переміщення виробів, які нагріваються, також небезпека може бути і при інших технологічних операціях. Контакт людини зі струмоведучою частиною можливий також через виріб або інструмент.

При роботі деяких печей, вібраціях і роботі механізмів, може виникнути шум, що перевищує припустимі норми. Припустимий рівень шуму на робочих місцях обмежений ГОСТ 12.1.003 — 83.

Внаслідок руху машин, механізмів, матеріалів, а також при веденні ремонтних робіт, експлуатації різних механізмів, виникає небезпека травмування працівників.

Якщо є можливий дотик персоналу до металевих корпусів електроустановок та до арматури систем опалення, водогону та каналізації, то необхідно відгороджувати струмонепровідними ґратами.

Приміщення, де розміщені електроцитове та інше обладнання підвищеної безпеки, повинні бути постійно зачинені.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки устаткування, обладнання та технологічних процесів.

Технологічні процеси, робота обладнання, що використовується в проектному відділенні, відповідають вимогам охорони праці, які встановлені ГОСТ 12.3.004 – 75 “Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности”,

а також ГОСТ 12.2.003 – 74 “Оборудование производственное. Общие требования безопасности”.

Основними вимогами, пропонованими з погляду охорони праці при проектуванні машин і механізмів, є: безпека для здоров'я й життя людини, надійність, зручність експлуатації. Вимоги безпеки визначаються системою стандартів безпеки праці НПАОП (ССБТ). Засоби захисту повинні бути, як правило, багатофункціонального типу, таким чином вирішувати декілька задач одночасно.

При монтажі й експлуатації термічних електропечей необхідно виконувати ряд загальних вимог по техніці безпеки. Понижуючі трансформатори і панелі керування встановлені безпосередньо на металевій конструкції електропечі, а пірометричну апаратуру - на спеціальних пірометричних щитах. Якщо пірометрична і силова апаратура розташовані на одному щиті, контактори встановлені на конструкціях, які не зв'язані з загальним каркасом щита. Електроізоляція всіх струмоведучих частин повинна бути якісною та надійною. Вона підлягає регулярній перевірці. Ізоляцію можна вважати задовільною, якщо на будь-якій ділянці мережі між двома запобіжниками витікання струму не перевищує 1 ма.

Основними засобами захисту від ураження струмом є: забезпечення недоступності струмоведучих частин, які знаходяться під напругою, для випадкового доторкання; для цього завантажувальне вікно печі обов'язково блокується; уникнення небезпеки ураження при появі напруження на корпусах, кожухах і інших частин електрообладнання, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням,  $R_3 \leq 4$  Ом (ПУЕ), захисним відключенням і ін.; застосування спеціальних електрозахисних засобів – переносних приладів і пристосувань; організація безпечної експлуатації електроустановок.

Апаратуру керування електропечю доцільно розташовувати в безпосередній близькості від робочого місця.

Надійність машин і механізмів визначається імовірністю порушення нормальної роботи устаткування. Такого роду порушення можуть з'явитися причиною аварій і, у кінцевому рахунку, травм. Велике значення в забезпеченні надійності має міцність конструктивних елементів. Міцність характеризує здатність конструкції піддаватися зовнішнім впливам без руйнування і значних залишкових деформацій. Конструкційна міцність машин і агрегатів визначається як характеристиками міцності матеріалу конструкції, так і його кріпильних з'єднань (зварені шви, заклепки, штифти, шпонки, нарізні сполучення), а також умовами їхньої експлуатації (наявність змащення, корозія під дією навколишнього середовища, наявність надмірного зносу і т.д.).

Корпуса печей, трансформатори, щити керування та пірометричні щити повинні мати самостійне заземлення  $R_z < 4 \text{ Ом}$  ( ПУЕ ). В термічних цехах заземленню підлягають всі металеві не струмоведучі частини електрообладнання, які можуть виявитися під напругою при номінальному напруженню електрообладнання вище 42 В змінного та 110 В постійного струму. Всі щити керування електропечами повинні бути закритого типу. На пультах щитів необхідно встановити спеціальні лампи, які сигналізують про вимикання струму на нагрівальних елементах. Всі струмоведучі частини електропечей повинні мати огороження, які так само, як інші металічні не струмоведучі частини повинні бути надійно заземлені. Заслінки електропечей обладнують автоблокуванням, яке автоматично відключає живлення електронагрівачів при їх відкриванні. Все це зазначене відповідно правилам ГОСТ 12.1.019 – 79 “Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты”.

Велике значення в забезпеченні надійної роботи машин і механізмів має наявність необхідних контрольно-вимірювальних приладів і пристроїв автоматичного керування й регулювання. Органи управління (ричаги, педалі, кнопки і т.д.) повинні бути надійними, легкодоступними і гарно розрізняємі, зручними у використанні. Всі види технологічного обладнання повинні бути відкриті для огляду, змашування, розробки, наладки, прибирання, транспортування, встановлення і управління ними в роботі (ГОСТ 12.3.004-75).

В цеху встановлено кран-балка, вантажопід'ємністю 1 т. Назначено приказом відповідальним за роботу кранового господарства.

Керувати краном можна за допомогою пульта керування, виконаного з ізоляційних матеріалів. В цеху встановлено бірочну систему.

В аварійних ситуаціях для відключення електродвигуна знімають руку з пульта керування з кнопками пружинного типу.

Корпус пульта керування і металеві ферми кран-балки заземлюють.

Втрати тепла крізь стіни і склепіння печі можливо суттєво зменшити, якщо використовувати теплоізоляційний шар. Температура зовнішньої поверхні стіни повинна бути не більше 45°C (СН 245-71

Завантажування і вивантажування виробів з печі слід проводити тільки при знеструмленій печі, в цьому слід впевнитися по сигнальній лампи на щиті.

#### 4.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.

При виконанні трудових обов'язків на людину діє навколишнє повітряне середовище, зокрема параметри метеорологічних умов - температура, відносна вологість, швидкість.

Температура, відносна вологість та швидкість руху повітрі робочої зони виробничих приміщень повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарные гигиенические требования».

Робочою зоною – є простір висотою 2 м над рівнем робочої поверхні.

Метеоумови в робочій зоні приміщення, визначаються ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

Умовно рік розбито на два періоди - теплий період (ТП), коли температура за межами приміщення становить +10°C і більше та холодний період (ХП), коли температура за межами приміщень +10°C і менше.

Оптимальні температурні умови на робочих місцях залежать від ступеня тяжкості роботи (табл.4.1)

Таблиця 4.1 — Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря в робочій зоні виробничих приміщень

/ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»/

Сезон року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість переміщення повітря, м/с
Холодний і перехідний період року	Легка, I	20 – 23	60 – 40	0,2
Теплий період року	Легка, I	22 – 25	60 – 40	0,2

Оптимальною вважають: температуру 20 °С, вологість повітря - 60 %, швидкість переміщення повітря 0,2 м/с, атмосферним тиском вважають 760 мм. рт. ст.

Температура повітря визначає характер теплообміну тіла людини з оточуючим середовищем. Здатність людського організму підтримувати постійну температуру в межах 36,7°С зумовлена його терморегуляторною діяльністю.

При температурі навколишнього повітря більше 28°С з'являється загальна втома, знижується продуктивність праці, погіршується розумова діяльність, послаблюється опір організму до захворювань. При виконанні важкої фізичної роботи у приміщенні з температурою понад 30°С людина протягом зміни втрачає 10...12 літрів вологи, що становить 10% маси тіла людини.

Відносна вологість повітря впливає на теплообмін організму, визначає теплові відчуття людини. У повітрі завжди є водяна пара і чим вищий ступінь насичення повітря вологою, тим менше її може випаруватися з поверхні тіла. Випаровування вологи практично не відбувається при відносній вологості більше

80%. Висока відносна вологість при низьких температурах погано впливає на терморегуляцію організму, може викликати його; переохолодження.

Швидкість руху, повітря - один з факторів, що характеризує мікроклімат виробничих приміщень. Щоб уникнути протягів, швидкість руху повітря повинна бути в наступних межах: 0,1...0,5 м/с при загальній вентиляції; 0,7...2,0 м/с - при місцевій вентиляції.

Склад повітря. У складі атмосферного повітря міститься 78% азоту, 21% кисню 0,03% вуглекислого газу, вуглецю, озону тощо. В закритому приміщенні склад повітря змінюється в той чи інший бік. Норми відхилень від цього складу передбачені НАОП 1.3.11 – 8.02 – 90 “Правила техніки безпеки и производственной санитарии при термообработке металлов”.

Заходи щодо забезпечення нормального мікроклімату в робочих приміщеннях: опалення, вентиляція, кондиціонування повітря.

В виробничих приміщеннях машини, обладнання, печі виділяють в навколишнє середовище значну кількість різних речовин. Крім того на якість повітря у виробничих приміщеннях впливає надлишок теплоти, що випромінюють верстати, апарати, преси, печі, і вироби тощо. Ефективним засобом забезпечення чистоти і параметрів мікроклімату повітря робочої зони є вентиляційна система.

Вентиляція - організований та регульований повітрообмін, забезпечує видалення із приміщення забрудненого повітря і приплив на місце чистого з метою створення сприятливого для здоров'я людей середовища.

Так як цех є гарячим, передбачено природна вентиляцію та механічна.

Загальнообмінна вентиляція застосовують для забезпечення нормативних параметрів навколишнього середовища в робочій зоні приміщення. Загальнообмінна вентиляція використовується в тому випадку, коли шкідливі виділення надходять у приміщення, де не фіксовані робочі місця.

Місцева вентиляція призначається для забезпечення працюючих чистим повітрям безпосередньо на робочому місці та вилучення шкідливих речовин від джерел їх виділення та скупчення. Місцева припливна вентиляція створює

сприятливі умови в обмеженій зоні приміщення, а витяжка запобігає розповсюдженню шкідливих речовин в робочій зоні та в приміщеннях.

Вимогами СНиП П-4-79 «Природное и искусственное освещение. Нормы проектирования», а також «Правил устройства электроустановок потребителей (ПУЕ)», «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей ».

Для освітлення виробничого приміщення використовують:

- природне;
- штучне;
- комбіноване.

Приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати, як правило, природне освітлення. Природне освітлення підрозділяється на: бічне, верхнє і верхнє - бокове (комбіноване). Розміри світлових отворів, допускається змінювати на +5, -10%.

Нерівномірність природного освітлення приміщень виробничих будинків з верхнім, або верхнім і природним боковим освітленням не повинна перевищувати 3:1.

Суміщене освітлення приміщень допускається передбачати у випадках, коли це потрібно за умовами вибору раціональних об'ємно-планувальних рішень.

Штучне освітлення підрозділяється на: робоче, аварійне, евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації), охоронне. При необхідності частина світильників того, чи іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Штучне освітлення варто передбачати для всіх приміщень, будинків, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей і руху транспорту.

Для освітлення приміщень, як правило, варто передбачати газорозрядні лампи низького і високого тиску. У випадку неможливості та техніко - економічної недоцільності застосування газорозрядних джерел світла допускається використання ламп накалювання.

Аварійне освітлення варто передбачати, якщо відключене робоче освітлення, та пов'язане з цим порушення нормального обслуговування обладнання та механізмів може викликати: вибух, пожежу, отруєння людей; тривале порушення технологічного процесу.

Норми штучної освітленості наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Норми штучної освітленості.

СниП 11 – 4 – 79 “Естественное и искусственное освещения. Нормы проектирования”/

Характер зорової роботи	Найменший розмір б'єкта розпізнавання, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розпізнавання з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення, лк
Середньої точності	Більше 0,5 – 1,1	IV	б	Малий	Темний	300

Рівні виробничого шуму не перевищують значень, встановлених ГОСТ 12.1.003-83 ВСН 601-84 «Відомчі норми допустимого шуму на підприємствах зв'язку» та СН 32.23-85 «Санитарные нормы допустимого шуму на робочих местах». Допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях згідно з граничними спектром ГС-75 складає 80 дБА. Шум сприяє шкідливу фізіологічну дію на людський організм.

#### 4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежа – неконтрольований процес горіння, який супроводжується знищенням матеріальних цінностей та складає небезпеку для життя людей.

Висока пожежовибухонебезпечність технологічних процесів термічного виробництва визначається різними причинами пожежі: порушення технологічного режиму, несправність електрообладнання, незадовільною підготовкою обладнання до ремонту, недотримання графіка планового обслуговування і ремонту обладнання, конструктивні недоліки обладнання.

Причини пожеж технічного характеру, що виникають на машинобудівних підприємствах і відповідна їм частота випадків наступні:

- порушення технологічного режиму - 33 %;
- несправність електроустаткування (коротке замикання, перевантаження і великі перехідні опори) - 16 %;
- погана підготовка устаткування до ремонту - 13 %;
- самозаймання промасленого дрантя й інших матеріалів, схильних до самонагрівання - 10 %;
- недотримання графіка ППР, знос і корозія устаткування — 8 %;

Заходи щодо пожежної профілактики розділяються на організаційні, технічні, режимні й експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильний зміст будинків, території, протипожежний інструктаж робочих і службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів по питаннях посилення пожежної безпеки і т.д.

До технічних заходів відносяться дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, при пристрої електропроводів і устаткування, опалення, вентиляції, висвітлення, правильне розміщення устаткування.

До заходів режимного характеру відноситься заборона паління в невстановлених місцях, виробництва електрозварювальних і інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях і ін.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти й іспити.

У відповідності до СНиП 2.08.02-85 «Нормы проектирования. Производственные здания промышленных предприятий» категорія виробництва належить до групи Г (пожежонебезпечно).

Відповідно до ГОСТ 12.1.004 — 85 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» і ГОСТ 12.1.010—76 «ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования» імовірність виникнення пожежі протягом року не повинна перевищувати  $10^{-6}$ . Забезпечення пожежної безпеки промислових підприємств досягається строгим дотриманням пожежних вимог, регламентованих СНиП 2.09.02—85 і СНиП 2.01.02—85, Типовими правилами пожежної безпеки для промислових підприємств, Правилами устрою електроустановок.

Протипожежні перекриття, які виключають поширення пожежі по вертикалі будівлі, їх використовують в двоповерхових будівлях термічних цехів.

Легкоскидаючі конструкції (ЛСК) забезпечують зниження навантаження на конструкцію, що огорожує, при вибуховому горінні. Вони використовуються на ділянках термічних цехів, де можливе виникнення вибуху; ЛСК повинні руйнуватися в початковій стадії вибуху й обмежувати ріст тиску в об'ємі. Площа ЛСК визначається по СНиП 2.01.02—85. В якості ЛСК застосовують остекление будівлей, дверей, поворотних панелей.

Вогнеутримувачі — це захисні пристрої, які пропускають парогазоповітряні суміші, перешкоджаючи проходженню полум'я. В термічних цехах вогнеутримувачі встановлюють в трубопроводах палих газів, на резервуарах палих рідин.

В табл. 4.3 показано оснащення приміщення переносними вогнегасниками.

Таблиця 4.3 Оснащення приміщення переносними вогнегасниками

Категорія приміщення	Клас пожежі	Пінні і водні по 10 л	Порошкові		
			2 л	5 л	10 л
Г	В	2 +	–	2 ++	1 +
	С	–	2 +	2 ++	1 +

Умовні позначення до табл. 4.3

В – пожежі горючих рідин або твердих речовин;

С – пожежі від газів;

Знаками “+ +” позначені вогнегасники для об’єктів;

“+” – для використання у разі відсутності рекомендованих;

“–” – такі вогнегасники не допускаються для об’єктів.

Згідно СніП 2.09.02 – 85 для виробництва категорії “Г” установлена ступінь вогнестійкості будівлі IV.

В термічних цехах може виникнути пожеженебезпечність. У більшості випадків це відбувається при роботі: з контрольованими атмосферами; при використанні олій для охолодження виробів.

Контрольовані атмосфери, як і всякі пальні гази, вибухонебезпечні, коли в замкнутому обсязі утворюється газоповітряна суміш певного співвідношення. Найбільш вибухонебезпечним з газів, які застосовують в контрольованих атмосферах, є водень.

Високу небезпеку представляє дисоційований аміак (через значний вміст у ньому водню) і ендотермічний газ (через високий вміст водню й окису вуглецю). Зріджені гази пропан і бутан, маючи більшу щільність, ніж повітря, можуть скупчуватися в нижніх точках приміщення й утворювати там вибухонебезпечні суміші.

Пожежна профілактика досягається шляхом заходів наступних видів:

Заходів, які спрямовані на запобігання виникненню пожежі або вибуху. Це насамперед попередження утворення пожеженебезпечного середовища,

усунення причин виникнення джерела запалювання (ініціювання вибуху). З цією метою здійснюється герметизація обладнання, заміна вогневибухонебезпечних матеріалів, використання флегматизаторів, систем вентиляції, заборона використання відкритого вогню.

Заходів, що попереджають поширення пожежі і вибуху. До їх числа відносяться правильне розташування будинків на території (пожежні розриви, облік «рози ветров»), протипожежні пристрої в конструкції будинків (протипожежні перешкоди, вогнестійкі перекриття ), правильне планування цехів і ділянок з врахуванням їх пожежних характеристик.

Безпечної евакуації людей і матеріальних цінностей із зони пожежі. Для цієї мети розробляють евакуаційні виходи і шляхи евакуації.

Заходів, що забезпечують успішне гасіння пожежі: правильний вибір та розміщення засобів пожежегасіння.

#### 4.5 Заходи з цивільної оборони.

Зв'язок є основним засобом забезпечення безперервного управління підготовкою та проведенням рятувальних та інших невідкладних робіт під час ліквідації наслідків НС.

Оповіщення і зв'язок у надзвичайних ситуаціях забезпечується за допомогою єдиної національної системи зв'язку ( ЄНСЗ ).

Сигнали оповіщення ЦО, повідомлення про загрозу та виникнення НС, інформація про дії в умовах НС доводяться до працівників підприємств всіма наявними засобами зв'язку, мовлення, оповіщення.

У системах оповіщення можуть застосовуватись апаратура та технічні засоби оповіщення ЦО, канали та засоби зв'язку мережі радіомовлення.

Система оповіщення повинна забезпечувати можливість оповіщення керівників підприємств. Для підвищення ефективності оповіщення здійснюється дублювання передавання сигналів.

Оповіщення на підприємстві здійснюється за допомогою електросирен ( уривчастих звучань ), а також радіомовлення, що означає „Увага всім!”

За цим сигналом необхідно вимкнути всі засоби теле- та радіомовлення для прийому мовного повідомлення.

Тексти звернень повинні передаватися державною мовою. На пенктах управління закладені варіанти текстів для передання повідомлення в різних ситуаціях.

Локальні системи оповіщення повинні забезпечувати оповіщення:

- керівників та інших працівників потенційно небезпечних об'єктів;

- оперативних чергових аварійних служб, відповідних територіальних органів ЦО та територіальних органів внутрішніх справ за прямими телефонами;

- керівників та інших працівників підприємств, установ ( навчальних, медичних закладів )

З метою своєчасного оповіщення і перевірки достовірності прийнятого повідомлення встановлюється прямий телефонний зв'язок чергового диспетчера потенційно небезпечного об'єкта з оперативним черговим відповідного територіального органу МВС за рахунок потенційно небезпечного об'єкту.

#### 4.6 Висновки

В термічному відділенні механоскладального цеху передбачені усі вище зазначені заходи безпеки персоналу та устаткування згідно відповідним

стандартам, ГОСТам та СніПам. Для індивідуального захисту працівників передбачені спеціальний одяг, рукавиці, та ін. Також для захисту працівників від ураження струмом передбачено захисне заземлення, використання подвійної ізоляції, захисне відключення, застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і пристосувань, організація безпечної експлуатації електроустановок. У виробничих приміщеннях для уникнення виробничого травматизму передбачено застережувальне пофарбування на окремих елементах будівельних конструкцій. Для продуктивної та безперервної роботи працівників створені сприятливі метеоумови: температура 20-22°C, відносна вологість 60-40%, також передбачена вентиляція загально обмінна та місцева.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розрахунок капітальних вкладень в основні фонди

До складу основних фондів відділення входять:

1. Будівля;
2. Виробниче обладнання;
3. Інструмент пристосування;
4. Виробничий і господарський інвентар.

Вартість будівель виробничого, допоміжного та побутового призначення розраховується, виходячи з вартості  $1\text{ м}^3$  за нормами проектування промислових об'єктів. Вартість  $1\text{ м}^3$  будинку приймаємо за 20 грн. Зовнішній обсяг будинку ділянки визначають по формулі:

$$V = 1,1 \cdot F \cdot h$$

де  $F$  – внутрішня площа ділянки (по плануванню),  $\text{м}^2$ ;

$h$  – висота будинку ділянки, м.

$$V = 1,1 \cdot 24 \cdot 72 \cdot 8 = 15206,4\text{ м}^3$$

$$k_{\text{о}} = 15206,4 \cdot 20 = 304128\text{ грн}$$

Капітальні вклади в обладнання ( $K_{\text{об}}$ ) визначають як суму балансової вартості різних видів обладнання:

$$K_{\text{об}} = K_{\text{о.т.}} + K_{\text{о.е.}} + K_{\text{о.п.т.}} + K_{\text{о.к.у.}} \quad (5.2)$$

де  $K_{\text{о.т.}}$ ,  $K_{\text{о.е.}}$ ,  $K_{\text{о.п.т.}}$ ,  $K_{\text{о.к.у.}}$  – балансова вартість відповідно технологічного, енергетичного, підйомно-транспортного устаткування, контрольно-вимірювального і регулюючих приладів, грн..

У балансову вартість технологічного обладнання входять: вартість обладнання, яка береться по прейскуранту оптових цін, плюс транспортно-заготівельні витрати в розмірі 10% та затрати на фундамент і монтаж у розмірі 10% оптової ціни обладнання.

Капіталовклади на енергетичне обладнання ( $K_{o.e.}$ ) в термічних цехах складається із затрат на створення трансформаторних та розподільчих пристроїв, придбання електродвигунів, що не входять у комплект постачання. Ці витрати можна прийняти в розмірі 45 грн. за кіловат встановленої потужності електродвигунів.

Капіталовклади підйомно-транспортного устаткування визначають по прейскуранту оптових цін з додаванням 10% заготівельних і 10% монтажних витрат від оптової ціни.

Капіталовклади в контрольно-вимірювальне обладнання та регулюючі прилади приймають у розмірі 65 грн. на одиницю встановленого обладнання.

Розрахунки балансової вартості машин та іншого обладнання зводяться в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Балансова вартість виробничого обладнання

Обладнан-ня	Марка	Кількість обладнання		Коеф. вико-рист. облад-нання	Балансова вартість, грн.		Потужність встановлених двигунів, кВт	
		розра-хунко-ва	Прийнята		одиниці	усього	Оди-ниці	усього
1. Технологічне обладнання								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Камерна піч	СНЦА5.10.3, 2/10	1,94	2	0,97	5597000	11194000	472	944

Продовження таблиці 5.1

Камерна піч	СНЗА5.10.3,2 /7	2,7	3	0,9	3800000	11400000	120	360
Камерна піч	СНЗА5.10.3, 2/10	1,816	2	0,91	380000 0	7600000	120	240
Прес		1	1	1,0	500000	500000	10	10
Установка для обробки холодом	ХКМ	1	1	1	90000	90000	60	60
Камерна піч	СНО4.8.2,5/ 7	0,98	1	0,98	128500 0	1285000	120	120
Штовхальна піч	СТОА12.70. 4/7	1,09	1	1	445500 0	4455000	581	120
Штовхальна піч	СТОА12.70.4 /11	0,79	1	0,79	4455000	4455000	581	120
Штовхальна піч	СТОА12.70.4 /7	2,2	2	1	4250000	8500000	581	240
Камерна піч	СДЗ 1,4.2,8.10/7	1,7	2	0,93	555000	1110000	100	400
Установка для приготу-вання - ендогазу	ЭН 60М1	1	1	1,0	500000	500000	3	3
Мийна машина	ММК-400	2	2	1	45200	90400	2	2
ТЗВ 10%						4989800		
		2						
Монтаж 10%						4989800		
Разом:						59877600		
2. Енергетичне обладнання						80360		
3. Підйомно-транспортне обладнання			2					
3.1 Кран-балка					11500	23000		

## Продовження таблиці 5.1

4. Контрольно-вимірювальне обладнання					1495		
4.1 Мікроскоп МІМ-7		3		5000	15000		
4.2 Твердомір ТК		2		1500	3000		
4,3Твердомір ТК-2М		2		1500	3000		
Разом					48200		

$$K_{об} = 59877600 + 80360 + 23000 + 48200 = 60029160$$

Вартість інструментів приймається 3% від балансової вартості технологічного обладнання:

$$60029160 \cdot 0,03 = 1800874,8 \text{ грн}$$

Вартість виробничого інвентарю приймається у розмірі 2% від балансової вартості виробничого обладнання:

$$60029160 \cdot 0,02 = 1200583,2 \text{ грн}$$

Склад основних фондів наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Склад і структура основних фондів

Назва груп основних фондів	Початкова балансова вартість тис. грн.	Відсоток до підсумку	Норма амортизації, %	Сума річної амортизації, тис. грн.
1 . Будівля	506,880	7,12	3	15,21
2. Обладнання	6299,891	88,52	10	629,99
3. Інструмент	184,040	2,59	15	27,61

## Продовження таблиці 5.2

4.Транспортні засоби				
4. Виробничий і господарський інвентар	125,997	1,77	15	18,89
Усього	7116,808	100		691,71

## 5.2 Матеріальне забезпечення

До найважливіших допоміжних матеріалів, які використовуються на технологічні цілі, відносяться: гартівна олія, аміак, та ендогазу. До допоміжних матеріалів для утримання устаткування відносяться: жароміцні сплави для виготовлення пристроїв, піддонів, корзин.

Розрахунки основних (технологічних) і допоміжних матеріалів зведено в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат основних і допоміжних матеріалів

Найменування матеріалів	Витрат матеріалів			
	На 1 тону деталей, кг	На програму, т	Ціна за тону, рн...	Вартість на програму, тис. рн..
1	2	3	4	5
1. На технологічні цілі				
1.1 Природний газ	105	321,87	370 (за 1000 м <sup>3</sup> )	119,09
1.2 Ендогаз	100	306,54	1700	521,11
1.2 Аміак	50	153,27	624	95,64
1.3 Вода	9	27,5	560 (за 1000 м <sup>3</sup> )	15,44

## Продовження таблиці 5.3

ТЗВ 10%				79,09
Усього				869
2. На утримання обладнання				
2.1 Цегла вогнетривка	5	2,58	360	5,517
Продовження таблиці 5.3				
1	2	3	4	5
2.2 Цегла ізоляційна	3	1,548	352	3,236
2.3 Глина та пісок вогнетривкі	0,5	0,258	246	0,37
2.4 Прокат жароміцний	5	2,58	10700	163,99
2.5 Сталь листова, пруткова	4	2,064	940	42,00
2.6 Литво жароміцне	6	3,096	8700	16,93
ТЗВ 10%				23,2
Усього				255,24

## 5.3 Праця і заробітна плата

## 5.3.1 Розрахунок чисельності працюючих

Чисельності працюючих розраховується за наступними нормами: чисельність, трудомісткість, обслуговування. Метод розрахунку за нормами чисельності використовується для визначення чисельності робітників, що виконують роботи по керуванню печами, машинами та контролю за технологічним процесом.

Явочна чисельність робітників:

$$R_{я} = \sum n_i \cdot H_i \cdot S_i$$

де  $S_i$  – кількість змін роботи обладнання;

$n_i$  – кількість обладнання  $i$ -го типу, шт.;

$H_i$  – норма чисельності обслуговування робітників для обслуговування одиниці обладнання, чол.;

Явочна чисельність робітників приведена в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 - Явочна чисельність робітників

Операція	Обладнання	Кількість обладнання	Норма обслуговування (одиниць устаткування на 1 робітника в зміні)	Кількість робітників в 1 зміні	Кількість змін роботи обладнання
Нітроцементация	СНЦА 5.10.3,2/10	2	4	8	3
Відпал	СНЦА 5.10.3,2/7	3	4	8	3
Гарт	СНЦА 5.10.3,2/10	2	2	4	2
Відпуск	СНО 4.8.2,5/7	1	3	3	3
Гартування	СТОА12.704/11	1	2	2	3
Старіння	СТОА12.704/7	2	4	8	3
Відпал	СДЗ 14.28.10/7	2	4	8	2
Приготування ендогазу	ЭН – 60М1	4	1	4	2
Усього		17		45	

$$R_{я} = 2 \cdot 4 \cdot 3 + 3 \cdot 4 \cdot 3 + 2 \cdot 2 \cdot 2 + 1 \cdot 3 \cdot 3 + 1 \cdot 2 \cdot 3 + 2 \cdot 4 \cdot 3 + 2 \cdot 4 \cdot 2 + 4 \cdot 1 \cdot 2 = 131$$

На основі встановленої явочної чисельності виробничих робітників розраховується їх спискова чисельність за формулою:

$$R_{\text{сп.}} = R_{\text{я}} / K_{\text{сп.}},$$

де  $R_{\text{сп.}}$  – спискова чисельність виробничих робітників, чол.;

$K_{\text{сп.}}$  – коефіцієнт, який показує співвідношення дійсного річного фонду часу робітника до номінального.

Він означає, що  $\sim 10\%$  спискової чисельності відсутні на роботі із-за відпусток, за хворобою або за іншими поважними причинами.

$$K_{\text{сп.}} = 131 / 0,9 = 145 (\text{чол.})$$

Чисельність допоміжних робочих, інженерно-технічних працівників (ІТП), спеціалістів визначається за нормами обслуговування термічного відділення. Зведену чисельність працівників наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Зведена чисельність працюючих за категоріями

Категорія персоналу	Чисельність працюючих, чол.	% до спискової чисельності основних виробничих робітників	% від усієї чисельності
1. Робітники, усього:	195	-	94,2
виробничі	145	100	-
допоміжні	50	46,5	-
2. ІТП	9	10,5	4,35
3. Спеціалісти	3	3,5	1,45
Усього	207	-	100

### 5.3.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Уся сума заробітної плати, виплачувана працівникам відділення (без премії з фонду матеріального споживання), утворює фонд заробітної плати. Цей показник розраховують окремо по категоріях працюючих і в цілому по

відділенню. Річний фонд заробітної плати складається з тарифного фонду (чи окладу) і додаткової заробітної плати.

Тарифний фонд заробітної плати робітників визначається за формулою:

$$Z_T = \sum C_j \cdot \Phi_D \cdot R_j,$$

де  $C_j$  - годинна тарифна ставка  $j$ -робітника, год.;

$\Phi_D$  - дійсний річний фонд часу робітника, год.;

$R_j$  - чисельність робітників, чол.

Розрахунок тарифного фонду заробітної плати робітників зведений у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок тарифного фонду заробітної плати робітників

Категорія робітників, професія	Розряд роб-ка	Чисель- ність роб- ків, чол.	Дійсний річний фонд часу, год.	Годинна тарифна ставка, год.	Тарифний фонд заробітної плати, грн.
1. Виробничі роботи					
1.1 Терміст на печах	5	137	1860	4,68	940118,4
1.2 Калильник	3	4	1860	3,66	27230,4
1.3 Заготівельник суміші для контрольов. атмосфер	3	4	1860	3,66	27230,4
Усього		116			994579,2
2. Допоміжні роботи					
2.1.1 Слюсар по обладнанню	4	5	1860	4,08	30355,2
2.1.2 Слюсар по трубопроводах	2	5	1860	3,30	24552
2.1.3 Пірометрост	2	5	1860	3,30	24552
2.1.4 Крановщик	4	5	1860	4,08	30355,2
2.1.5 Пічник	3	5	1860	3,66	27230,4
Усього		25			137044,8

## Продовження таблиці 5.6

2.2 Які не обслуговують обладнання					
2.2.1 Комірник	4	4	290	3,7	4292
2.2.2 Лаборант	5	5	320	4,2	6720
2.2.3 Підсобний робочий	3	12	260	4,3	13416
2.2.4 Прибиральниця	3	4	260	3,6	3744
Усього		25			16102
У підсумку		195			1147726

Фонд додаткової заробітної плати робітників включає премії і доплати. Сума премій визначається укрупнено, для виробничих робітників у розмірі 40 %, допоміжних - 30% тарифного фонду.

Загальні доплати (за роботу в нічний і вечірній час, навчання учнів, бригадирство і ін.) приймаємо в розмірі 12% тарифного фонду заробітної плати робітників. Річний фонд заробітної плати ІТП розраховується в таблиці 5.7, виходячи з їх числа й окладів, фонду часу роботи (12 міс.) і доплат за шкідливі умови праці.

Таблиця 5.7 - Розрахунок річного фонду заробітної плати інженерно-технічних працівників, грн.

Професія	Кількість, чол..	Оклад	Сума окладів	Доплата 10%	Річний фонд
1	2	3	4	5	6
1. ІТП					
1.1 Начальник відділення	1	2700	2700	270,0	35640
1.2 Старший майстер	1	2400	2400	240,0	31680
1.3 Змінний майстер	1	2100	2100	210,0	27720
1.4 Майстер по ремонту	1	1350	1350	135,0	17820

Продовження таблиці 5.7

Усього	4		8550		112860
2. Спеціалісти					
2.1 Економіст	1	2250	2250	225,0	29700
2.2 Бухгалтер	1	2175	2175	217,5	28710
Усього	2		2950		58410

Розмір доплат за шкідливі умови праці ІТП установлені при їх постійній зайнятості на ділянці в розмірі 10% їх місячного окладу, спеціалістам - 5 %. Не включається у фонд зарплати, але враховується при розрахунку середнього рівня заробітної плати премії з фонду матеріального споживання. Розмір премій складає для робітників 5%, для ІТП 40%, для спеціалістів 25%, для службовців 10% тарифного фонду заробітної плати.

Продуктивність праці у цеху одного робітника й одного працюючого визначають по формулах:

$$P_{\text{праців}} = B / (R_{\text{д}} + R_{\text{в}} + R_{\text{ІТП}} + R_{\text{сп.}}),$$

де B - річна програма дільниці, т;

$R_{\text{д}}$  - чисельність допоміжних робітників, чол.;

$R_{\text{в}}$  - чисельність виробничих робітників, чол.;

$R_{\text{ІТП}}$  - чисельність інженерно-технічних працівників, чол.;

$R_{\text{сп.}}$  - чисельність спеціалістів, чол.

$$P_{\text{праців}} = 1134,7 / (36 + 14 + 12 + 4 + 2) = 16,7 \text{ (тон/чол.)};$$

$$P_{\text{робіт.}} = 1134,7 / 62 = 18,3 \text{ (тон/чол.)}.$$

Результати розрахунків зводяться в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 - Чисельність та фонд заробітної плати працюючих

Категорія працюючих	Чисельність прац-х, чол.	Фонд заробітної плати, тис.грн.				Річний	Премії з ФС, тис. грн.	Фонд зарп. з прем. ФС, тис	Середньо- міс.
		Тарифний	Дод. зарплата		Річний				
			премії	доплати					
1. Виробничі робітники	36	800,48	390,5	287,13	1478,1	36,3	1514,4	2100	
2. Доп. робочі:	26								
2.1 Які обслуговують	14	120,35	35,11	20	175,46	8,37	183,83	1400	
2.2 Які не обслуговують	12	16,358	8,89	4,55	29,798	1,29	31,088	1700	
3. ІТП	4	80,56	-	5,81	86,37	22,032	108,4	1950	
4. Спеціалісти	2	49,846	-	2,87	52,716	6,93	36,696	2400	
Усього	68	1067,6	434,5	320,36	1822,5	74,922	1874,7	9550	

#### 5.4 Собівартість термообробки

Собівартість термообробки розраховується по наступним калькуляційним статтям витрат:

1. Допоміжні матеріали на технологічні цілі;
2. Паливо і енергія на технологічні цілі;
3. Основна заробітна плата виробничих робітників;
4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників;
5. Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників;
6. Відрахування на утримання і експлуатацію устаткування;
7. Цехові витрати;
8. Збитки від браку.

Стаття 1. Вартість допоміжних матеріалів представлені в таблиці 5.3 і складає 35,1912 тис. грн..

Стаття 2. Витрати на технологічну електроенергію:

$$C_{\text{те}} = H_e \cdot Q_r \cdot C_e,$$

де  $H_e$  - норма витрат електроенергії на технологічні цілі, (кВт·год.)/т;

$Q_r$  - Річна виробнича програма, т/рік;

$C_e$  - ставка за 1 кВт·год. спожитої електроенергії (0,21 грн/ (кВт·год.).

$$C_{\text{те}} = 300 \cdot 1134,7 \cdot 0,21 = 71486,1 \text{ (грн.)}$$

Стаття 3. Основна заробітна плата робітників розраховано в таблиці 5.8 і складає 621,270 тис. грн.

Стаття 4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників розраховано в таблиці 6.8:

$$253,258 + 187,13 = 477,63 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 5. Відрахування на соціальне страхування визначається в розмірі 37,5 % фонду заробітної плати виробничих робітників з урахуванням премії з фонду споживання:

$$1335,20 \cdot 0,375 = 500,7 \text{ (тис. грн.)}$$

4.1 Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

Ця стаття (стаття 6) є комплексною і визначається по окремому кошторисі (табл. 6.9), до якого входять окремі статті:

Стаття 1. Утримання обладнання:

а) Вартість допоміжних матеріалів, що витрачаються на експлуатацію устаткування (табл. 5.3) - складає 53,933 грн.

б) Розрахунок витрат на силову електроенергію розраховується по формулі:

$$C_{\text{ен}} = P_{\text{уст.}} \cdot K_z \cdot \Phi_d \cdot C_e,$$

де  $P_{уст}$  - установлена потужність електродвигунів;

$K_3$  - коефіцієнт використання обладнання;

$\Phi_d$  - дійсний річний фонд роботи устаткування.

$$C_{ен} = 1889 \cdot 0,9 \cdot 5663 \cdot 0,21 = 2021,8099 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 2. Заробітна плата допоміжних робітників, що обслуговують устаткування, розрахована в табл. 5.8. Відрахування на соціальне страхування складають 37,5% фонду заробітної плати з урахуванням премії з фонду споживання:

$$146,924 \cdot 0,375 = 55,0965 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 3. Витрати на поточний ремонт печей 20% від їх вартості, підйомно-транспортних засобів - 5 % від їх вартості:

$$17575,018 \cdot 0,2 + 33,595 \cdot 0,05 = 3516,698 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 4. Амортизація обладнання та інструменту розраховано в табл. 5.2 і в сумі складає:

$$1765,6953 + 79,456 = 1845,15 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 5. Сума витрат на знос малоцінних інструментів і пристосувань визначається в розмірі 0,2 % вартості устаткування (табл. 5.2):

$$17656,953 \cdot 0,002 = 35,3139 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 6. Інші витрати розраховуються в розмірі 4 % від суми витрат по статтях (1-4) даного кошторису.

Відсоток витрат на утримання і експлуатацію устаткування визначається по формулі:

$$K_{об} = 100 \cdot C_{об} / Z_T,$$

де  $C_{об}$  - сума витрат на утримання і експлуатацію устаткування, тис.грн.;

$Z_T$  - тарифний фонд заробітної плати виробничих робітників, тис.грн. (табл. 5.8):

$$K_{об.} = 100 \cdot 5322,59 / 621,27 = 856,73 \%$$

Таблиця 5.9 - Кошторис витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Найменування статей	Сума, тис.
1	2
1. Експлуатація обладнання:	
а) рухова енергія;	2021,8099
б) допоміжні матеріали	53,933
1	2
2. Заробітна плата допоміжних робітників, які обслуговують	55,0965
3. Поточний ремонт обладнання	3516,698
4. Амортизація обладнання та інструменту	1845,15
5. Знос малоцінних інструментів і пристосувань	35,3139
6. Інші витрати	856,73
Усього	8383,553

Розрахунок цехових витрат.

Цехові витрати (стаття 7) є комплексною і визначається по окремому кошторисі (табл. 5.10), до якого входять окремі статті:

Стаття 1. Витрати на утримання цехового персоналу включають: заробітна плата ІТП і допоміжних робітників, зайнятих на загально цехових роботах (контролери, розподільники робіт, прибиральниці) з відрахуванням на соціальне страхування:

а) Заробітна плата ІТП і спеціалістів розрахована в табл. 5.8. Відрахування на соціальне страхування складає 37,5% фонду заробітної плати з урахуванням премії з фонду споживання:

$$(84,432+36,969) \cdot 0,375 = 45,423 \text{ (тис. грн.)};$$

б) Заробітна плата допоміжних робітників, не зайнятих обслуговуванням устаткування, розрахована в табл. 5.8. Відрахування на соціальне страхування складають 37,5 % фонду заробітної плати з урахуванням премії з фонду споживання:

$$19,704 \cdot 0,375 = 7,4 \text{ (тис. грн.)}.$$

Стаття 2. Утримання будинків і інвентарю:

а) Розрахунок витрат на електроенергію для освітлення виконується згідно формули:

$$C_{eo} = T_e \cdot C_e \cdot N_{oi} \cdot F_{oi} \cdot 10^{-3},$$

де  $T_e$  - річна кількість годин освітлювального навантаження (при 3-х змінній роботі  $T_e = 4700$  год.);

$N_{oi}$  - середня витрата електроенергії на  $1 \text{ м}^2$  площі підлоги;

$F_{oi}$  - освітлювана площа, м ;

$$C_{eo} = 4700 \cdot 0,24 \cdot 18 \cdot 1368 \cdot 10^{-3} = 27,775 \text{ (тис. грн.)}.$$

б) Витрати на опалення визначається за формулою:

$$C_{оп} = T_{ой} \cdot C_{от} \cdot N_{рт} \cdot V_{ой} \cdot 10^{-6},$$

де  $T_{ой}$  - кількість годин в опалювальному періоді (4320 год.);

$C_{от}$  - тариф на 1 Гкал теплової енергії (гаряча вода), грн. (77,5 грн.);

$N_{рт}$  - середня витрата теплоти на  $1 \text{ м}^3$  будинку, ккал (25 ккал.);

$V_{ой}$  - об'єм опалювального приміщення,  $\text{м}^3$

$$C_{оп} = 25 \cdot 4320 \cdot (1368 \cdot 12) \cdot 77,5 \cdot 10^{-6} = 137,401 \text{ (тис. грн.)}.$$

в) Витрати на воду для господарських потреб визначається:

$$C_{вб} = C_{вд} \cdot N_{вв} \cdot R \cdot 10^{-3},$$

де  $C_{вд}$  - ціна  $1 \text{ м}^3$  води, грн. (2 грн./м );

$N_{вв}$  - норма витрати води на 1 людину зміну, л (26л);

$R$  - число працюючих, чол.

$$C_{вб} = 66 \cdot 25 \cdot 2 = 3,432 \text{ (тис. грн.)}.$$

г) Допоміжні матеріали приймають у розмірі 3% від вартості будинків і інвентарю (табл. 5.2):

$$(39915,750 + 353,139) \cdot 0,03 = 1208,067 \text{ (тис. грн.)}.$$

Стаття 3. Витрати на поточний ремонт будинків і інвентарю розраховується в розмірі 4 % вартості будинку (табл. 5.2):

$$39915,750 \cdot 0,04 = 1596,63 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 4. Амортизаційні відрахування в табл. 5.2:

$$1197,4725 + 52,971 = 1250,4435 \text{ (тис. грн.)}$$

Стаття 5. Витрати на іспити, дослідження, раціоналізацію приймають в сумі 50 грн. на одного працюючого:

$$68 \cdot 50 = 3400 \text{ (грн.)}$$

Стаття 6. Витрати на охорону праці визначаються в розрахунку 40 грн. на одного працюючого:

$$68 \cdot 40 = 2720 \text{ (грн.)}$$

Стаття 7. Витрати на відшкодування зносу малоцінного інвентарю приймають в розмірі 100 грн. на одного виробничого працюючого:

$$36 \cdot 100 = 3600 \text{ (грн.)}$$

Стаття 8. Інші витрати розраховуються в розмірі 3% від суми всіх попередніх цехових витрат:

$$394,22 \cdot 0,03 = 11,826$$

Відсоток цехових витрат розраховуються:

$$K_{ц} = 100 \cdot C_{ц} / Z_{т},$$

де  $C_{ц}$  - сума цехових витрат, тис. грн.;

$Z_{т}$  - тарифний фонд заробітної плати виробничих робітників, тис. грн.

$$K_{ц} = 100 \cdot 4286,9035 / 621,67 = 689,58\%$$

Стаття 9. Збитки від браку приймаємо 4% від суми попередніх статей: 199 (тис. грн.).

Калькуляція собівартості продукції складається за формою табл. 5.11.

Таблиця 5.10 - Кошторис цехових витрат

Найменування статей	Сума, тис.грн.
1	2
1. Утримання цехового персоналу:	
а) ІТП	45,423
б) допоміжні робітники, які не зайняті обслуговуванням устаткування	7,4
2. Утримання будинків і інвентарю:	
а) електроенергія для освітлення	27,775
б) опалення	137,410
в) вода на побутові потреби	3,432
г) допоміжні матеріали	1208,67
3. Поточний ремонт будинків і інвентарю	1596,63
4. Амортизація будинків і інвентарю	1250,4435
5. Витрати на іспити, дослідження, раціоналізацію	3,4
6. Охорону праці	2,72
7. Знос малоцінного інвентарю	3,6
8. Інші витрати	689,58
Усього	4976,48

Таблиця 5.11 - Собівартість обробки в термічному відділенні механоскладального цеху

Найменування калькуляційних статей витрат	По проекту		
	На 1 т, грн.	Усього,	%
1	2	3	4
1. Допоміжні матеріали на технологічні пілі	38,845	35,1912	0,2
2. Технологічна енергія	91,2	71,4861	0,4
3. Основна заробітна плата виробничих робітників	644	621,270	4,07
4. Додаткова заробітна плата виробничих робітників	517	477,63	3,13

Продовження таблиці 5.11

5.Відрахування на соціальне страхування виробничих робітників	528	500,7	3,2
6.Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	8096,3	8383,53	54,9
7.Цехові витрати	5008,2	4976,48	35,5
8. Збитки від браку	214	199	1,3
∑ Собівартість обробки	15137,55	15265,29	100

### 5.5 Економічне обґрунтування проектного відділення

Економічна ефективність проектних рішень, які приймаються, визначається за допомогою економічного аналізу, який зводиться до визначення показників економічної ефективності проектного відділення, до яких відносять:

- собівартість термообробки 1 т продукції;
- питомі капітальні вклади;
- фондвіддача;
- строк окупності додаткових капітальних вкладів;
- випуск продукції за 1 м<sup>2</sup> виробничої площі;
- приведені затрати;
- річна економія.

Питомі капітальні вклади представляють собою відношення загального об'єму капітальних вкладів  $K_3$  до річного випуску продукції  $Q_p$ :

$$K_p = K_3/Q_p, (\text{грн./т})$$

$$K_p = 58455550,65/1134,7 = 51516,3 (\text{грн./т}).$$

Фондовіддача  $\Phi_B$  характеризується річним об'ємом випуску продукції в вартісному вираженні на 1 грн. основних фондів:

$$\Phi_B = C_p / K_z,$$

де  $C_p$  - собівартість річного об'єму випуску продукції.

$$\Phi_B = 15265290 / 58455550,65 = 0,25 \text{ (грн. /грн.)}.$$

Випуск продукції за  $1\text{ м}^2$  цеху:

$$W = Q_p / S,$$

де  $S$  - площа цеху,  $\text{м}^2$ .

$$W = 1134,7 / 1728 = 0,66 \text{ (т/м}^2\text{)}.$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладів:

$$T_{ок} = K_p / C_p,$$

де  $C_p$  - собівартість 1т продукції, грн.;

$K_p$  - капітальні вклади.

$$T_{ок} = 51516,3 / 15137,55 \sim 3,4 \text{ (роки)}$$

Продуктивність праці у проектному відділенні визначено у п.п.3.

Приведені затрати розраховуються по формулі:

$$З = C + E_H \cdot K,$$

де  $C$  - собівартість 1т продукції, грн.;

$K$  - питомі капітальні вклади в виробничі фонди;

$E_H$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладів ( $E > 0,19$ ).

$$З = 15137,55 + 0,19 \cdot 51516,3 = 24925,6 \text{ (грн.)}.$$

Розрахунок річної економії по собівартості:

$$E = (C_i + E_n K_i) Q_p,$$

$$E = (15137,55 + 0,19 \cdot 51516,3) 1134,7 = 28283 \text{ (тис.грн.)}$$

Очікуваний рівень рентабельності:

$$P = 24925,6 / 101324 \cdot 100\% = 24,6\%$$

Техніко-економічні показники проекту термічного відділення механоскладального цеху

Основні техніко - економічні показники наведені в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Основні техніко-економічні показники, отримані в термічному відділенні

Назва показників	Варіант за проектом
1	2
1. Абсолютні (кількісні) показники	
1.1 Тип виробництва	Серійний
1.2 Річний випуск продукції: - в натуральному вираженні, т	508
1.3 Кількість печей, шт..	14
1.4 Склад працюючих, усього, чол.	145
- ІТП	4
- спеціалістів	2
1.5 Фонд зарплати усіх працюючих	1822,5
1.6 Загальна площа цеху, м <sup>2</sup>	1728
1.7 Вартість основних фондів, усього, тис. грн.	58455,55
В тому числі обладнання, тис. грн.	

Продовження таблиці 5.12

2. Відносні (якісні) показники:	
2.1 Випуск продукції з 1 м <sup>2</sup> , т	0.66
2.2 Продуктивність праці:	
2.3 Фондовіддача грн./грн.	0,25
2.4 Середньомісячна зарплата, грн.:	
- одного робітника	1800
2.5 Відсоток витрат на утримання і експлуатацію обладнання, %	856
2.6 Питомі капітальні вклади, грн./т	51516,3
2.7 Відсоток цехових витрат, %	690
2.8 Цехова собівартість 1т, грн.	15137,55
2.8 Строк окупності, років	3,4
2.9 Річна економія по собівартості, тис.грн.	28283
3.0 Очікуваний рівень рентабельності, %	24,6

– Аналізуючи табл. 5.12 робимо висновок:

- для того щоб отримати річний випуск продукції 508 т., необхідна кількість робітників складає 131 чол., площа цеху 1728 м<sup>2</sup>, кількість печей складає 14 штук, цехова собівартість термічної обробки 1т продукції складає 15137,55 грн.;

- строк окупності додаткових капітальних вкладень складає 3,4 роки, що свідчить про те, що запропонований варіант проекту буде ефективним.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз умов експлуатації зубчастих коліс відповідно обрано варіанти ТО (ХТО), які забезпечують відповідність матеріалу цим вимогам. Розроблено технологію термічної обробки зубчастих коліс у термічному відділенні експериментального цеху КБ авіаційних двигунів.

Запропоновано наступну технологію термічної обробки: нітроцементация. Нітроцементация виробів проводиться при температурі  $(850\pm 10)^{\circ}\text{C}$  у електричній печі типу СНЦА у газовій атмосфері. Деталі після нітроцементации піддаються відпуску при температурі  $(600\pm 10)^{\circ}\text{C}$ . При відпуску відбувається виділення дисперсних карбідів із твердого розчину, що приводить до збідніння його вуглецем і легуючими елементами. В результаті зменшується ступінь легування аустеніту. Внаслідок цього точки  $M_{\text{п}}$  і  $M_{\text{к}}$  підвищуються, що приводить до зменшення кількості залишкового аустеніту в цементованому шарі після гарту. Відпуск проводиться в електричних печах СНЗА. Наступною операцією є гарт при температурі  $(800\pm 20)^{\circ}\text{C}$  в масло. Після гарту проводиться обробка холодом при температурі  $(-60..-130)^{\circ}\text{C}$ . Обробка холодом сприяє зменшенню кількості залишкового аустеніту в нітроцементованому шарі. Обробка холодом: викликає перетворення майже всього аустеніту в мартенсит у поверхневому шарі й значно підвищує твердість. Властивості серцевини при цьому не змінюються, тому що кількість залишкового аустеніту невелике й не змінюється при охолодженні в області низьких температур. Остаточною термічною обробкою є низькотемпературний відпуск при температурі  $(160\pm 100)^{\circ}\text{C}$  та охолодження на повітрі.

Особливу увагу в проекті приділено питанням охорони праці та навколишнього середовища в термічному відділенні. Запропоновані заходи дозволяють запобігти виникненню аварійних ситуацій при експлуатації обладнання, виключити можливість виробничого травматизму.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (роботи) для студентів спеціальності 8.090101 „Прикладне маріалознавство” / Укл.: Г.М. Бабиська, Г.І. Дудник, І.М. Лазечний, В.Ю. Ольшанецький. Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. 62 с.
2. Марочник сталей и сплавов: Справочник/ Под ред. В.Г. Сорокина. М.: «Машиностроение»,
3. Журавлёв В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. М.: «Машиностроение», 1981. 392 с.
4. Мотовилин Г.В., Масино О.М., Суворов О.В. Автомобильные материалы: Справочник. М.: Транспорт, 1989. 464 с.
5. Материалы в машиностроении. Выбор и применение: Справочник в 5-ти томах/ Под общ. Ред И.В. Кудрявцева. М.: „Машиностроение», 1967. 496 с.
6. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Секей А.Г. Технология термической обработки стали. М.: Металлургия, 1986. 424 с.
7. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1985. 490 с.
8. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 420 с.
9. Пружинные стали и сплавы. 3-е изд., перераб. и доп. Рахштадт А.Г. М., «Металлургия», 1982, 400с
10. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: Справочник / Под общ. Ред. В.Д. Кальнера. М.: «Машиностроение», 1984. 384 с.
11. Оборудование термических цехов. Соколов К.Н. 2-е изд., пере раб. и доп. Киев; Донецк: „Вища школа”, 1984. 328 с.
12. Оборудование термических цехов. Рустем С.Л. М.: Машиностроение, 1971. 288 с.

13. Дипломное проектирование термических цехов. Стародубов К.Ф. и др.. Издательское объединение „Вища школа”, 1974. 160 с.
14. Солодихин А.Г. Технология, организация и проектирование термических цехов. М.: Высшая школа, 1987. 368 с.
15. Матрюков Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. М.: Металлургия, 1986. 376 с.
16. Вишняков Д.Я., Ростовцев Г.Н., Неустроев А.А. Оборудование, механизация и автоматизация термических цехов. М.: Металлургия, 1969
17. Автоматическое управление металлургическими процессами. А.М. Біленький, В.Ф. Бердышев, О.М. Блинов. М.: Металлургия, 1989. 384 с.
18. Гамрат-Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов. М.: Высшая школа, 1985. 160 с.
19. Методичні вказівки до виконання економічно-організаційного розділу дипломних проектів для студентів спеціальності 8.090101 „Прикладне матеріалознавство” / Укл.: І.І. Азаров, В.В. Остапенко, Р.Г. Бобровников, Л.В. Жупина та ін. Запоріжжя, 1998. 34 с.
20. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Вершин и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. М.6 Машиностроение, 1985. 448 с.
21. Райцес В.Б., Литвин В.М. Техника безопасности в термических цехах. К.: Техніка, 1988. 159 с.
22. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280с.
23. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Каравела, 2004. 408с.
24. Методичні вказівки до дипломного проектування з розділу „охорона праці” / Укл.: Г.І. Дуднік, В.П. Порохненко, А.А. Потуремець, А.О. Писарський, О.В. Коваленко, О.М. Савчук. Запоріжжя: ЗДТУ, 2000. 60 с.
25. Стеблюк М.І. Цивільна оборона: Підручник. К.: Знання, 2006. 487

с.

26. Экономика предприятия. Учебник под ред.. С.Ф. Покропивного.  
К.: КНЕУ, 2003. 528 с.

**Підвищення зносостійкості зубчастих коліс  
методами хіміко-термічної обробки**

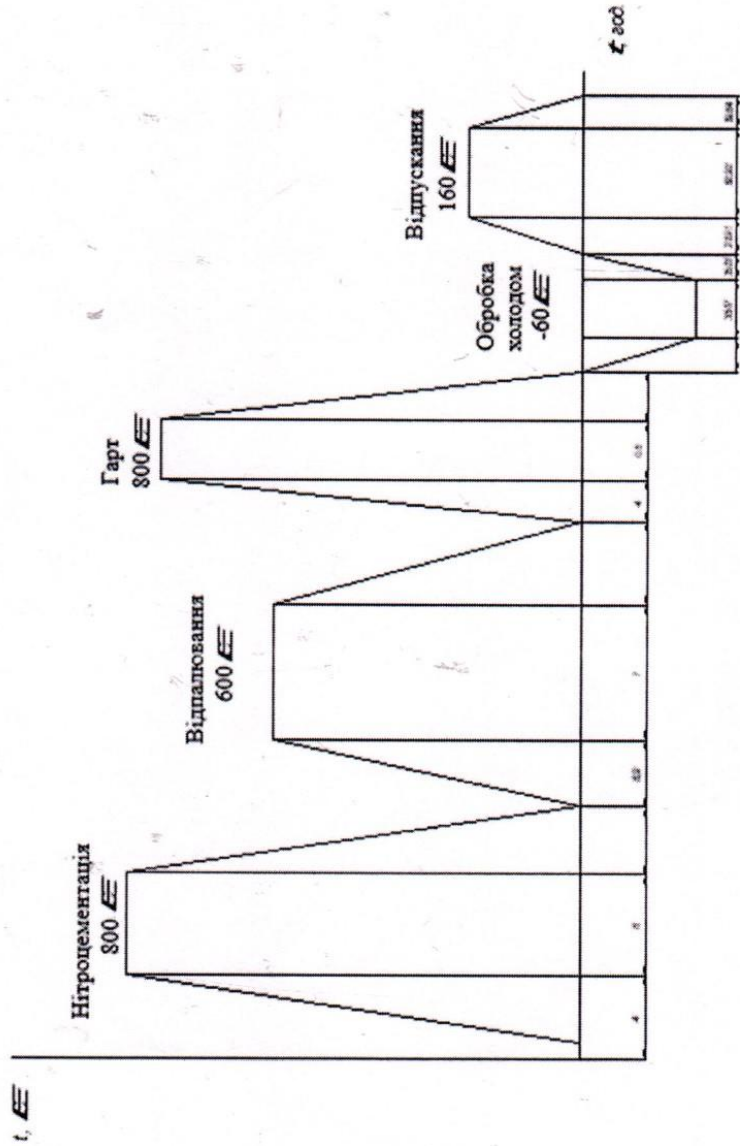
# Хімічний склад сталей

Марка сплаву	Масова частка компонентів, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo			
12X2H4A	0,10-0,15	0,17-0,37	0,30-0,60	1,25-1,75	3,25-3,75	-	-			
16X3HВФМБ (ВКС-5)	0,14-0,19	0,60-0,80	0,40-0,60	2,60-3,0	1,0-1,5	1,0-1,4	0,4-0,6			
13X3HВМ2Ф (ВКС-4)	0,10-0,15	0,40-0,80	0,40-0,60	2,7-3,2	0,8-1,2	-	-			

# Механічні властивості матеріалів

Матеріал	Рекомендований режим термооброблення	Властивості матеріалу					
		$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$\sigma_{-1}$ , до ХТО	$\sigma_{-1}$ , після ХТО
12Х2Н4А	Нітроцементация(850±10) °С повітря, відпал (600±10), повітря, Гарт,(800±20),масло;Обробка холодом(-60..-130);відпуск(160±10),повітря	1000	-	12	55	520-600	950-900
16ХЗНВФМ Б (ВКС-5)	Нітроцементация(830±10) °С повітря, відпал (650±10),повітря, Гарт (820±20),масло;Обробка холодом(-60..-130);відпуск(180±10),повітря	1300	1150	10	50	580-620	1000-850
13ХЗНВМ2 (ВКС-5)	Нітроцементация(860±10) °С повітря, відпал (650±10),повітря, Гарт (820±20),масло;Обробка холодом(-60..-130);відпуск(160±10),повітря	1200	1050	13	55	620	-

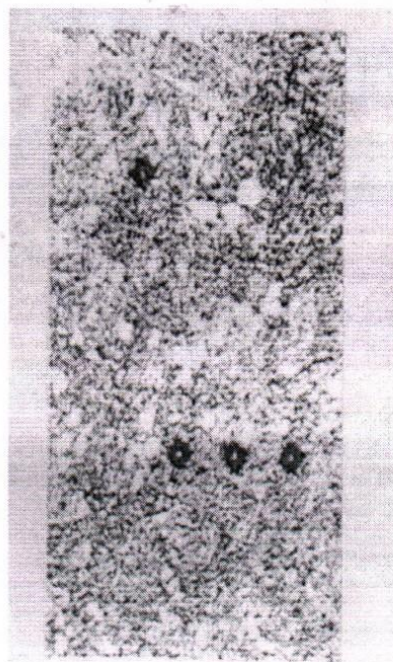
# Графік термічного оброблення зубчатих коліс зі сталі ВКС-4



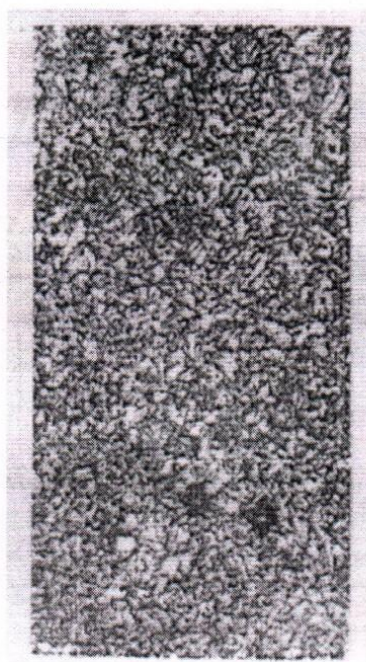
## Види дефектів при нітроцементатії та способи їх запобігання

Вид дефекту	Причина появи дефекту	Заходи по запобіганню	Рекомендації по усуненню
завищена глибина шару	Завищена $t$ , завищений $\tau_v$ , висока активність атмосфери	Здійснення процесів згідно технології, регулювання потенціала	Невиправний вид дефекту
занижена глибина шару	занижена $t$ , занижена $\tau_v$ , мала активність атмосфери	Здійснення процесів згідно технології, регулювання потенціала	Повторна нітроцементатія
занижений вміст С та N	Занижений вміст С та N, висока температура нітроцементатії	Здійснення процесів згідно технології, підтримка потенціалу	Проведення нітроцементатії з підвищеним потенціалом С та N
Незадовільний розподіл С та N по глибині шару	Незадовільне регулювання С та N потенціалу, відхилення від температурного режиму	Дифузійний відпал	Дифузійний відпал в атмосфері із заниженим потенціалом С та N

# Вибір оптимальної глибини нітроцементованого шару

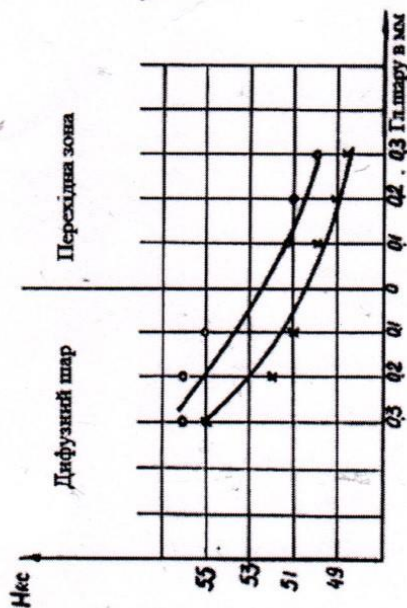


цементований шар сталі

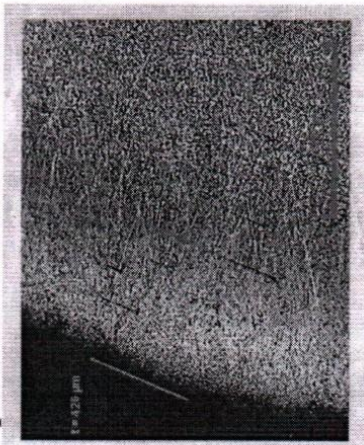


нітроцементований шар сталі

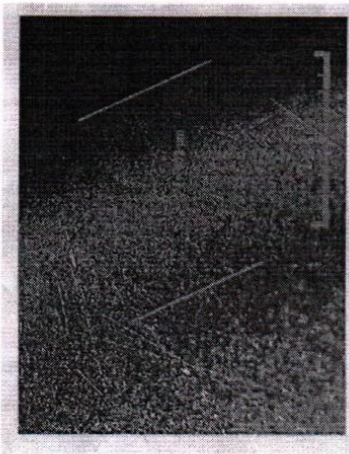
Твердість перехідної зони  
нітроцементованого та  
цементованого шарів



Мікроструктура поверхневого шару  
нітроцементованої сталі

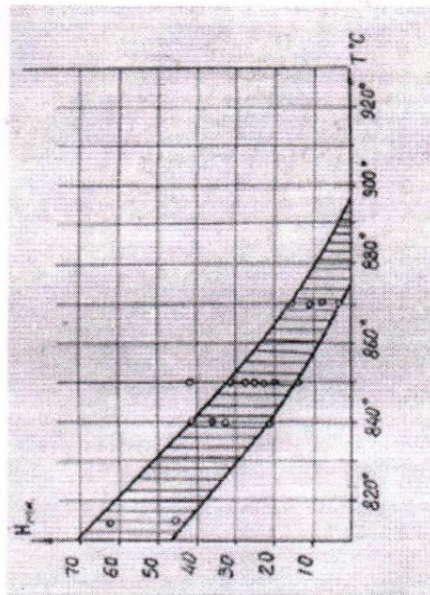


сталь 12X2H4A

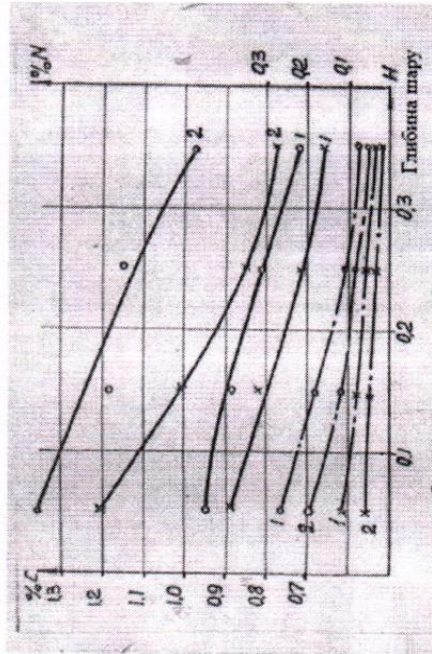


сталь 14X1ГСН2МА

# Особливості дифузійного насичення теплостійких сталей та мікроструктура шару після нітроцементації

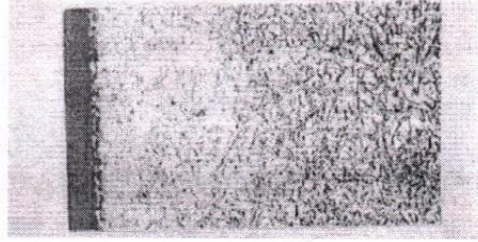


Зміна глибини карбонітридної зони при різних температурах нітроцементації.



Вміст вуглецю та азоту в дифузійному шарі теплостійких сталей 14XГСН2МА та 20X3МВФ.

14XГСН2МА



20X3МВФ



Мікроструктура нітроцементованої сталі