

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
**Кафедра прикладного матеріалознавства і технології  
конструкційних матеріалів**

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
В.о. завідувача кафедри  
Гапонова О.П.

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ДЛЯ ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
за напрямом підготовки 132«Матеріалознавство»**

Тема роботи: «Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і  
термічної обробки деталі «бандаж зубчатого колеса»

Виконав(ла):  
студент(ка) Руденко Софія Геннадіївна

Керівник:  
ст. викл. Берладір Христина Володимирівна

Залікова книжка № 16510048

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

\_\_\_\_\_  
підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:  
Сидоренко Ю. Ю.

\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
В.о. завідувача кафедри  
Гапонова О.П.

\_\_\_\_\_

дата, підпис

**ЗАВДАННЯ  
ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

**Руденко Софії Геннадіївни**

1. Тема проекту(роботи): «Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «бандаж зубчатого колеса» затверджена Наказом по університету від «07» квітня 2020 р. № 0513-III
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проекту(роботи) Креслення бандаж зубчатого колеса та вимоги до нього вказані на кресленні (додаток А) \_\_\_\_\_
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)  
Аналіз умов роботи деталі, літературний огляд, вибір матеріалу та методів дослідження, маршрутна технологія виготовлення деталі, розрахунково-експериментальна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення деталі, графік термічної обробки деталі, план розробленого термічного відділення.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	Квітень-травень 2020	Виконано
2	Огляд літератури	Травень 2020	Виконано
3	Характеристика матеріалів деталі	Травень 2020	Виконано
4	Розробка маршрутної технології виготовлення деталі	Травень 2020	Виконано
5	Розрахунково-експериментальна частина	Травень-червень 2020	Виконано

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота містить 65 сторінок, зокрема 5 розділів, 19 рисунків, 10 таблиць, список із 24 використаних літературних джерел.

**Мета роботи** – вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки та термічної обробки деталі «бандаж зубчатого колеса».

**Завдання:**

- проаналізувати умови роботи деталі;
- провести аналіз літературних джерел;
- раціонально обрати матеріал для виготовлення деталі;
- розробити технологічний процес, термічну та хіміко-термічну обробку виробу;
- підібрати основне обладнання для термічного відділення та спроектувати термічне відділення.

**Методи дослідження** – металографічні і електронно-мікроскопічні дослідження структури поверхневого шару сталей, вимірювання мікротвердості цементованого шару за допомогою приладу ПМТ-3.

Досліджено вплив процесу цементації на структуру та властивості сталі 25ХГТ, розроблена технологія хіміко-термічної обробки – цементації. Після проведення цементації визначені товщина дифузійного шару і його мікротвердість, а також вплив на міцнісні характеристики сталі.

**Ключові слова:** бандаж зубчатого колеса, маршрутна технологія, цементація, гартування, відпуск низький, структура, твердість.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ .....	9
1.1 Аналіз умов роботи деталі «бандаж зубчатого колеса».....	9
1.2.Причини виходу з ладу деталі «бандаж зубчатого колеса» .....	12
Висновки.....	14
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	15
2.1 Технології виготовлення та методи зміцнення деталі «бандаж зубчатого колеса» .....	15
2.2 Хіміко-термічне оброблення бандажу зубчатого колеса .....	18
Висновки.....	20
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ .....	21
3.1. Вибір матеріалу деталі «бандаж зубчатого колеса».....	21
3.2. Вплив легуючих елементів на властивості матеріалу .....	23
3.3. Методи дослідження .....	27
3.3.1. Металографічні дослідження .....	27
3.3.2. Випробування металу на твердість .....	29
3.3.3. Випробування на мікротвердість .....	30
Висновки.....	31
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....	32
Висновки.....	37
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	38
5.1. Розробка альтернативного методу термічної обробки .....	38
5.2. Розрахунок виробничої програми .....	50
5.3. Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання .....	51
5.3.1. Розрахунок основного обладнання.....	53

5.4. Проектування термічного відділення.....	55
5.5. Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці .....	56
Висновки .....	59
ВИСНОВКИ .....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	63

САНІТАР

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Актуальність роботи пов'язана з підвищенням міцності та якості бандажу зубчастих коліс.

Зубчасті передачі набули широкого поширення завдяки своїй універсальності, високому коефіцієнту корисної дії (ККД), можливості застосування в широкому діапазоні швидкостей і потужностей, компактності та надійності. У той же час зубчасті передачі висувають високі вимоги до якості робочих поверхонь. Для їх оброблення потрібна висока кваліфікація і спеціальна підготовка всіх працівників. Оброблення зубів і базових отворів є одним з найскладніших етапів технологічних процесів механічного оброблення, який виконується на спеціалізованих верстатах з використанням дорогого спеціального інструменту [1].

Зубчаста передача – це механізм, який за допомогою зчеплення передає або перетворює рух із зміною кутових швидкостей і моментів. Їх використовують для передачі руху і обертаючого моменту в широкому діапазоні потужностей і швидкостей а також для перетворення обертального руху в поступальний і навпаки [2]. Вони застосовуються у:

- а) коробках передач;
- б) редукторах – закритих передачах, призначених для зниження частоти обертання і підвищення обертального моменту на вихідному валу;
- в) відкритих передачах (наприклад, лебідки);
- г) важко навантажених механізмах для піднімання та опускання шахтових вагонеток, бурильних труб тощо [3].

**Мета роботи** – вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки та термічної обробки деталі «бандаж зубчатого колеса».

### **Завдання:**

- проаналізувати умови роботи деталі;
- провести аналіз літературних джерел;
- раціонально обрати матеріал для виготовлення деталі;

- розробити технологічний процес, термічну та хіміко-термічну обробку виробу;
- підібрати основне обладнання для термічного відділення та спроектувати термічне відділення.

**Методи дослідження** – металографічні і електронно-мікроскопічні дослідження структури поверхневого шару сталей, вимірювання мікротвердості цементованого шару за допомогою приладу ПМТ-3.

Досліджено вплив процесу цементації на структуру та властивості сталі 25ХГТ, розроблена технологія хіміко-термічної обробки – цементації. Після проведення цементації визначені товщина дифузійного шару і його мікротвердість, а також вплив на міцнісні характеристики сталі.



## РОЗДІЛ 1

# ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

### 1.1 Аналіз умов роботи деталі «бандаж зубчатого колеса»

Задана деталь «бандаж» - деталь зубчастого колеса коробки подач металорізального верстата.

Металорізальний верстат – машина для розмірної обробки заготовок шляхом зняття стружки. Обробка проводиться переважно шляхом різання лезовим або абразивним інструментом. Використовуються також електрофізичні та електрохімічні методи обробки, поверхнєве пластичне деформування, оптичні лазери. У верстаті створюються рухи для утворення ріжучим інструментом на заготовці однієї або декількох заданих поверхонь. Всі ці рухи є цілком визначеними, що відповідають заданому технологічному процесу. Для забезпечення необхідних закономірностей кожного руху встановлюють характерні його параметри і створюють у верстаті відповідні механізми.

Металорізальні верстати у відповідності зі службовим призначенням мають різні технологічні можливості і розміри. Сукупність всіх типів і розмірів верстатів, що випускаються в певний період часу, називається типажем. Верстати класифікуються за багатьма ознаками.

Залежно від виду обробки і застосовуваного ріжучого інструменту верстати поділяють на технологічні групи: токарні, свердлильні й розточувальні, фрезерні, шліфувальні і т.д.

По класу точності розрізняють верстати нормальної (Н), підвищеної (П), високої (В), особливо високої (А) точностей і особливо точні верстати (С).

За ступенем універсальності можна виділити універсальні (загального призначення), спеціалізовані та спеціальні верстати.

За рівнем автоматизації виділяють: верстати-напівавтомати, верстати-автомати, верстати з ЧПК, гнучкі виробничі модулі. Залежно від маси прийнято

розділяти верстати на легкі (до 1 т), середні (1 ... 10 т), важкі (більше 10 т) і унікальні (більше 100 т) [8].

Процес обробки на верстатах здійснюється за допомогою рухів формоутворення, в яких беруть участь як інструмент, так і заготовка.

Формоутворюючі рухи можуть бути рухами різання і рухами подачі. Ці рухи в процесі різання утворюють на заготовці задані поверхні.

Крім технологічних операцій, пов'язаних із зміною форми і розмірів заготовок, на верстатах необхідні допоміжні операції для зміни різального інструменту і заготовок, їх затиску і контролю, для підведення в зону обробки мастильно-охолоджувальної рідини і видалення стружки, а також для керування верстатами, контролю та діагностування їх стану [8].

Зубчастою передачею називають механізм, призначений для передачі обертового руху, а також для перетворення обертового (коливального) руху в поступальний або навпаки, поступального в обертовий рух.

Зубчасті колеса невеликого діаметру (зазвичай до 500 мм) прийнято виготовляти цільними з поковок, прокату і відливок. Більші зубчасті колеса виконуються складовими. Складові колеса виготовляються двох типів - з бандажами і вінцями (рис. 1.1). У першому випадку зубчастий обід (бандаж) насаджується на чавунний або сталевий центр - маточину на гарячій або пресовій посадці. У другому - зубчастий обід з'єднується з диском або маточиною (валом) за допомогою болтів. Складові колеса дозволяють у разі спрацювання зубів проводити заміну тільки зубчастого обода, зберігаючи центральну частину колеса. Якщо для сталевих зубчастих коліс складова конструкція в деяких випадках бажана, то при виготовленні черв'ячних коліс вона повинна бути обов'язковою. При установці на чавунний або сталевий центр (маточину) бронзового бандажа на посадці або вінця на болтах досягається велика економія дорогих кольорових металів (бронзи). Однак при нагріванні черв'ячного колеса під час роботи бронза розширюється сильніше чавуну або сталі, викликаючи ослаблення посадки і проворачивание зубчастого бандажа. Це - один з недоліків

бандажированного черв'ячних коліс. Тому слід віддавати перевагу болтових з'єднань зубчастого вінця з центром (маточиною) [1].

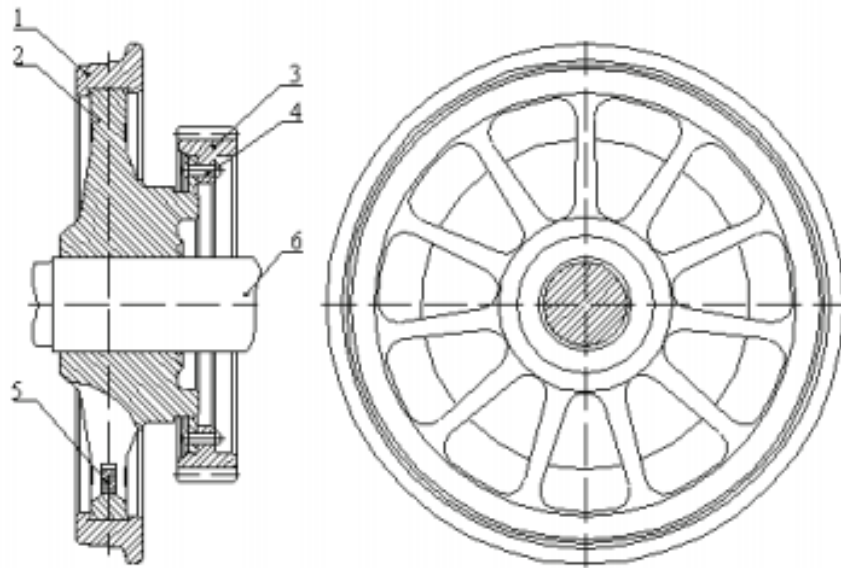


Рисунок 1.1 - Колесо електровагону з зубчастим вінцем, сполученим заклепками з фланцем маточини: 1 - бандаж; 2 - центр; 3 - вінець зубчастий; 4 - заклепка; 5 –пластина зміцнююча; 6 – вісь [11].

Показники міцності істотно залежать від конструкції бандажу і технології виготовлення. У ряді випадків підвищення надійності коліс може бути забезпечено використанням збірки з нагрівання охоплюють і низькотемпературних охолодження охоплених деталей [11].

## 1.2. Причини виходу з ладу деталі «бандаж зубчатого колеса»

Зубчасті колеса працюють в складних умовах. Зуби відчувають тертя і знос, змінні за величиною контактні тиску, статичні і циклічні напруги при вигині, динамічні навантаження [9].

У зв'язку з вищесказаним матеріал зубчастих коліс повинен мати високу міцність, твердість і зносостійкість поверхні контактної витривалістю, статичної і втомної міцністю при вигині, достатньою в'язкістю.

Для виготовлення шестерень застосовують покращувані сталі, що піддаються поверхневому загартуванню, і цементовані леговані сталі, що піддаються цементації і нітроцементації.

Завдання підвищення надійності і довговічності зубчастих коліс тісно пов'язана з аналізом причин передчасного виходу з ладу. У ряді робіт наведені окремі приклади руйнування шестерень [9]. Так, в роботі [10] описано характер руйнування шестерні крана і шестерні коробки передач після поверхневого гарту, планетарної і спіральної шестерень - після цементації і проаналізовані причини їх виходу з ладу. Розглянуто, в основному, тільки механізм втомного руйнування. В роботі [10] досліджено руйнування цементованого зубчастого колеса при статичній перевантаженні і відколи на цементованих зубчастих колесах.

Систематичного дослідження причин руйнування шестерень в літературі немає, зокрема не досліджувався механізм руйнування нітроцементованих шестерень, хоча нітроцементация в даний час є дуже поширеним і перспективним методом хіміко-термічної обробки.

У зв'язку з цим вивчення причин передчасного виходу з ладу шестерень, в тому числі підданих нітроцементації, є актуальним завданням.

При виборі матеріалу зубчастих коліс також необхідно враховувати вартість і дефіцитність легуючих елементів, що входять в обрану сталь, а також її загальну собівартість і енерговитрати на термічну обробку і технологічність виготовлення деталей.

Вихід з ладу зубчастих коліс пов'язаний з контактним втомним руйнуванням, заїданням, а також з поломкою зуба через втому або короткочасних перевантажень.

Силові зубчасті колеса повинні мати високу зносостійкість робочих поверхонь і достатньою статичною втомною міцністю на вигин і при контактному навантаженні. Найбільш повно цим вимогам відповідають леговані цементуємі сталі або сталі, схильні до нітроцементациї (табл. 1).

Таблиця 1.1

Сталі, рекомендовані для зубчастих передач, види їх термообробки і хіміко-термічної обробки [18]

Марки сталі	Термічна обробка
40Х	Нітроцементация 830 ° С, безпосередньо гартування (масло), відпустка 200 ° С
25ХГТ	Нітроцементация 850 ° С, безпосередня ступінчасте гартування (гаряче масло 180 ° С), відпуск 180 ° С
20ХГНМ, 30ХГТ	Газова цементация 930 ° С, безпосередньо гартування в маслі після подстужевання до 850 ° С, відпуск 200 ° С
12ХН3А	Цементация 900 ° С, гартування 800 ° С (масло), відпуск 170 ° С
18ХН4ВА	Цементация 900 ° С, відпуск 650 ° С (дворазовий), гартування 830 ° С (повітря), відпустк 180 ° С
20ХНМ	Газова цементация 930 ° С, відпуск 650 ° С,
25Х2ГНТА	Газова цементация 930 ° С, відпуск 660 ° С, гарт 810 ° С, відпуск 180 ° С
18ХГТ	Газова цементация 930 ° С, безпосередня, гарт в маслі після подстуживания до 830 ° С, відпуск 190 ° С

Средненагружених зубчасті колеса можна виготовляти з сталей 45, 50, 40X, 50X та ін. зі зміцненням поверхневим гартуванням і низькотемпературним відпуском.

Для малонавантажених зубчастих коліс використовують сталі, що пройшли поліпшення (НВ 2000 к ... 3200 Н / мм<sup>2</sup>). Після виготовлення термообробка не проводиться [12].

### **Висновки**

В даному розділі охарактеризовано конструкцію та призначення виробу, а також проаналізовано умови його роботи. Встановлено, що під час роботи деталі сприймають складну деформацію: вигин, крутіння, розтяг-стиск. У процесі їх роботи можливі поломки внаслідок дії статичних і втомних навантажень, а також деформації неприпустимих значень. Область бандажу піддається сильному зношуванню, а також контактним напруженням і напруженням.

Основними критеріями працездатності бандажу зубчастих коліс є: контактна витривалість, витривалість при згині, стійкість до зношування і заїдання.

Таким чином, матеріал для виготовлення деталі повинен мати високу контактну та загальну міцність і твердість при достатній в'язкості серцевини, чинити опір утворенню подряпин та задирів, бути економічним та не містити в своєму складі дефіцитних легувальних елементів.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2.1 Технології виготовлення та методи зміцнення деталі «бандаж зубчатого колеса»

Існують наступні способи виготовлення зубчастих коліс (обробки зубів) [11]:

- лиття (без подальшої механічної обробки зубів), для сучасних машин цей спосіб застосовують рідко;
- накатка зубів на заготівлі (також без подальшої їх обробки);
- нарізування зубів (зуби виходять в процесі механічної обробки заготовки).

При конструюванні колеса найбільш важливою вимогою є його жорсткість. Основні співвідношення елементів зубчастих коліс в залежності від їх конструкції наведено в спеціальних довідниках.

Для економії високоцінних дорогих матеріалів виготовляють збірні конструкції - бандажированного колеса. В цьому випадку зубчастий вінець колеса виготовляють з якісної сталі, а центральну частину роблять з менш дорогого матеріалу (наприклад, чавуну).

Спосіб виготовлення зубчастих коліс вибирають в залежності від їх призначення і з технологічних міркувань [11].

Для забезпечення виконавчим органом верстатів різних швидкостей руху є механізм, що дозволяє змінювати величини швидкостей при передачі руху - це рухомий блок зубчастих коліс, розташованих в коробці передач, що дозволяє надавати супорту з різцями різні швидкості переміщення уздовж шпинделя, забезпечуючи подовжню подачу.

Зубчасте колесо служить для передачі або перетворення руху з зміною кутових швидкостей і моментів за допомогою зубчастого зачеплення. Зубчасті

колеса застосовують для перетворення і передачі обертового руху в поступальний і навпаки.

Зубчаста передача складається з шестерні 1 і колеса 2 (рис. 2.1), закріплених на валах.

У процесі роботи поверхня зубів колеса піддається дії великих контактних напруг, сил тертя і контактного підвищення температури, що призводить до заїдання. Крім того, робоча частина зубів схильна абразивного зносу при попаданні абразивних частинок.

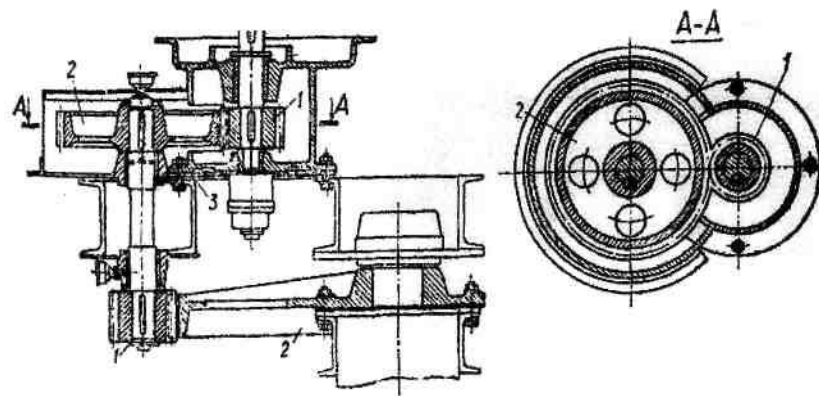


Рисунок 2.1 – Зубчаста передача [11]

Поломка зубів може викликатися великими перевантаженнями ударної або статичного дії, повторюваними перевантаженнями, що викликають втому металу.

Втомне викришування поверхневих шарів зубів (рис. 2.2) є найбільш поширеним видом ушкодження зубчастих коліс.

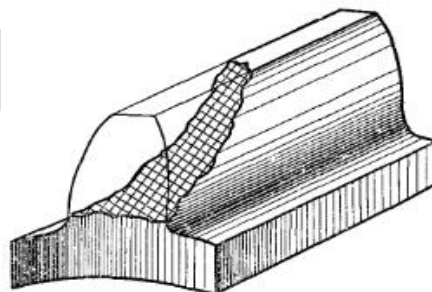


Рисунок 2.2 - Втомне викришування поверхневих шарів зубів [11]



Воно виражається в появі на робочих поверхнях невеликих заглиблень, які в процесі роботи збільшуються і перетворюються на раковини. Викришування починається на ніжках зубів, де, у зв'язку з малими швидкостями ковзання, виникають великі сили тертя.

Заїдання зубів полягає в місцевому молекулярному зчепленні контактуючих поверхонь в умовах руйнування мастильної плівки.

Враховуючи складний характер навантаження для забезпечення нормальної роботи деталей (зубчастих коліс), матеріал повинен мати такі властивості:

- умовна межа текучості  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа;
- межа міцності при розтязі  $\sigma_B \geq 1150$  МПа;
- максимальне напруження згину  $\sigma_F - 500-700$  МПа;
- відносне подовження  $\delta = 10 - 15\%$ ;
- $\varphi = 1,0-0,9$  МДж/м<sup>2</sup>.

Для запобігання швидкого зношування твердість поверхні зубів повинна бути в межах 58 - 62 HRC.

Як відзначалося в попередніх розділах, найбільша кількість руйнувань деталей типу вал-шестерня припадає на зубці. Контактна міцність та стійкість зубців валів-шестерень залежить від їх твердості. Їх висока твердість та міцність забезпечується не лише властивостями використовуваного матеріалу, а і спеціальною зміцнювальною поверхневою обробкою.

Об'ємне гартування – найпростіший спосіб досягнення високої твердості.

Для об'ємного гартування використовують вуглецеві та леговані сталі з середнім вмістом вуглецю 0,35-0,60 %. При цьому можна досягти твердості 45...55 HRC.

Недоліки об'ємного гартування: викривлення зубів і необхідність подальших оздоблювальних операцій, зниження згинальної міцності при ударних навантаженнях; обмеження розмірів заготовок, які можуть сприймати об'ємне гартування. Останнє пов'язане з тим, що для отримання необхідної твердості при гартуванні швидкість охолодження не повинна бути нижче критичної. Зі

збільшенням розмірів перерізів деталі швидкість охолодження падає та знижується твердість – м'яке гартування [6].

Як відзначалося в попередніх розділах, найбільша кількість руйнувань деталей типу вал-шестерня припадає на зубці. Контактна міцність та стійкість зубців валів-шестерень залежить від їх твердості. Їх висока твердість та міцність забезпечується не лише властивостями використовуваного матеріалу, а і спеціальною зміцнювальною поверхневою обробкою.

Об'ємне гартування – найпростіший спосіб досягнення високої твердості.

Для об'ємного гартування використовують вуглецеві та леговані сталі з середнім вмістом вуглецю 0,35-0,60 %. При цьому можна досягти твердості 45...55 HRC.

Недоліки об'ємного гартування: викривлення зубів і необхідність подальших оздоблювальних операцій, зниження згинальної міцності при ударних навантаженнях; обмеження розмірів заготовок, які можуть сприймати об'ємне гартування. Останнє пов'язане з тим, що для отримання необхідної твердості при гартуванні швидкість охолодження не повинна бути нижче критичної. Зі збільшенням розмірів перерізів деталі швидкість охолодження падає та знижується твердість – м'яке гартування [6].

## **2.2 Хіміко-термічна обробка деталі «бандаж зубчатого колеса»**

Поліпшити опірність деталей руйнуванню можна створенням на їх поверхні напружень стиску. Цього домагаються за допомогою наклепу, який здійснюється шляхом дробоструминної обробки, накатуванням роликками або шариками тощо. Дробоструминна обробка полягає в пластичній деформації поверхневого шару деталі на глибину 0,15...0,30 мм за допомогою сталевого або чавунного дроби, який із силою ударяє по поверхні [25].

Внаслідок наклепу підвищується твердість поверхні, міцність при втомленості (границя витривалості пружин підвищується на 50%, зубців

зубчастих коліс зі сталі 40X – на 20 %). З тією ж метою деталі, які мають циліндричну поверхню, піддають обкатці роликками під тиском (осі транспортного рухомого складу, колінчасті вали) [15].

З метою підвищення міцності зі збереженням пластичності застосовують термомеханічну обробку: перед загартуванням проводять пластичну деформацію, внаслідок чого отримують дрібнозернисту структуру, зростає міцність [15].

Об'ємне гартування у багатьох випадках замінюють поверхневими термічними і хіміко-термічними видами обробки, які забезпечують високу поверхневу твердість (високу контактну міцність) при збереженні в'язкої серцевини зуба (високої згинальної міцності при ударних навантаженнях). Цементация є тривалим та дорогим процесом. Однак вона забезпечує дуже високу твердість 58...63 HRC. При гартуванні після цементации форма зубців також викривляється. Для цементации використовують маловуглецеві леговані сталі 20X, 12XН3А та ін. Леговані сталі забезпечують підвищену міцність серцевини, тим самим запобігаючи продавлюванню крихкого поверхневого шару зубців при перевантаженнях. Глибина цементации складає 0,8-1,2 мм. Даний вид ХТО дає високі показники контактної міцності та міцності на згин. Її застосовують для зубчастих коліс, маса і габаритні розміри яких мають вирішальне значення (транспортні засоби, авіація) [16]. Азотування також забезпечує високу твердість поверхневого шару зубців (60...65 HRC). Мала товщина твердого шару (~ 0,1-0,6 мм) робить зубці чутливими до перевантажень та непридатними для роботи в умовах абразивного зносу. Ступінь викривлення зубців після азотування невеликий. Тому цей вид ХТО доцільно використовувати у тих випадках, коли важко шліфувати зубці.

Азотуванню піддаються колеса із середньовуглецевих сталей, до складу яких входить алюміній (38ХМЮА, 42Х2Н2МФЮА та ін.). Заготовки зубчастих коліс, призначених для азотування, треба попередньо гартувати та робити відпуск (поліпшення) для підвищення міцності серцевини.

Нітроцементация – насичення шар сталі вуглецем в газовому середовищі. При цьому в порівнянні з цементациєю скорочуються тривалість і вартість процесу, зміцнюється тонкий поверхневий шар (0,3...0,8 мм) до 60...63 HRC, жолоблення зменшується, що дозволяє позбавитися від подальшого шліфування.

Нітроцементация зручна в масовому виробництві і отримала широке застосування в редукторах загального призначення, в автомобілебудуванні та інших галузях – матеріали 25ХГМ, 25ХГТ та ін.

Як було вже зазначено, висока твердість зубів значно підвищує їх контактну міцність. В цих умовах вирішальною може виявитися не контактна, а міцність на згин. Для підвищення згинальної міцності зубів рекомендують проводити зміцнення деталей шляхом дробоструменевого наклепу, накатки і т. п [6].

## **Висновки**

З метою підвищення міцності зі збереженням пластичності застосовують термомеханічну обробку: перед загартуванням проводять пластичну деформацію, внаслідок чого отримують дрібнозернисту структуру, зростає міцність

Серед сталей, що піддаються ХТО та поверхневому зміцненню, найбільш широко використовуються сталі: 10, 15, 20, 15ХФ, 20Х, 12ХНЗА, та ін. Іншу групу складають безнікелеві економно леговані сталі марок 18ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГР тощо.

Зроблено огляд методів поверхневого зміцнення, до яких відносять об'ємне гартування, цементацию, нітроцементацию, ціанування, азотування тощо. Для об'ємного гартування використовують вуглецеві та леговані сталі з середнім вмістом вуглецю 0,35-0,60 %. При цьому можна досягти твердості 45...55 HRC. Для цементации використовують маловуглецеві леговані сталі 20Х, 12ХНЗА та ін. Азотуванню піддаються колеса із середньовуглецевих сталей, до складу яких входить алюміній (38ХМЮА, 42Х2Н2МФЮА та ін.).

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Вибір матеріалу для виготовлення деталі

На підприємстві базовою сталлю для виготовлення бандажа є сталь 12Х2Н4А.

Виходячи з аналізу використовуваних матеріалів для виготовлення валів-шестерень та технологій зміцнювальної обробки, доцільно замінити використовувану сталь на 25ХГТ.

Проаналізувавши технічні вимоги до деталі, замість сталі 12Х2Н4А вибираємо економно - леговану сталь 25ХГТ. Сталь 25ХГТ - конструкційна легована цементуєма і економнолегована сталь.

Вибір цієї сталі цілком задовольняє вимогам креслення і технічним вимогам до деталі «бандаж», а саме:

- умовна межа текучості  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа;
- межа міцності при розтязі  $\sigma_b \geq 1150$  МПа;
- максимальна напруга згину  $\sigma_F - 500-700$  МПа;
- відносне подовження  $\delta = 10 - 15\%$ ;
- $\varphi = 1,0-0,9$  МДж/м<sup>2</sup>.

За ціною сталь 25ХГТ значно дешевше, ніж нікелевмісна сталь 12Х2Н4А, а також для спадково дрібнозернистої сталі 25ХГТ більш простий і менш енергоємний процес хіміко-термічної і термічної обробки. Для сталі 25ХГТ також можлива більш висока температура цементації, що скорочує час проведення процесу, сталь не схильна до перегріву і росту зерна, тому гартування після цементації можливе з нагріву під хіміко-термічну обробку, а також немає необхідності проводити обробку холодом для усунення залишкового аустеніту після гартування.

Сталь 12Х2Н4А, на відміну від 25ХГТ, схильна до перегріву, а легуючі елементи, зокрема нікель, знижують точку  $M_K$  значно нижче  $0$  °С і деталі з цієї

сталі після гартування мають знижену твердість, так як в структурі є велика кількість залишкового аустеніту, що знижує загальну твердість загартованої сталі.

В таблицях 3.1, 3.2 наведені хімічні склади і механічні властивості базової заводський сталі 12Х2Н4А та обраної нами 25ХГТ.

Таблиця 3.1

## Хімічний склад сталей 12Х2Н4А і 25ХГТ

Марка сталі	C	Cr	Ni	Mn	Ti	S	P	Si
12Х2Н4А	0,09÷ 0,15	1,25 ÷ 1,65	3,25 ÷ 3,65	≤ 0,7	-	≤ 0,025	≤ 0,025	0,15 ÷ 0,35
25ХГТ	0,23÷ 0,29	0,9÷ 1,2	-	0,9 ÷ 1,2	0,03 ÷ 0,09	≤ 0,03	≤ 0,03	0,15 ÷ 0,35

Таблиця 3.2

## Механічні властивості сталей після термозміцнення

Марка сталі	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>	HRC поверхні
12Х2Н4А	1150	950	10	50	1,0÷0,9	56÷63
25ХГТ	1500	1300	9	40÷ 45	0,8÷0,9	58÷62

Порівнявши властивості і вимоги, пропоновані до сталей деталі «бандаж», остаточно вибираємо сталь 25ХГТ.

### 3.2. Вплив легуючих елементів на властивості сталей

Кожен легуючий елемент вводять у сталь для надання їй певних властивостей, необхідних для отримання якісного виробу, що забезпечить довгий термін роботи механізму

Легуючими елементами сталі 25ХГТ є хром, марганець і титан.

Хром є елементом, що впливає ефективно на зміну механічних і фізичних властивостей сталі. Розчиняючись в фериті і утворюючи міцні карбіди, а також чинячи помітний вплив на дисперсність одержуваної структури і коагуляцію структурних складових, він підвищує твердість і міцність сталі, межі пружності і текучості, не знижуючи пластичних властивостей.

Вплив хрому різний для різних структурних складових сталі. Вплив, що чиниться хромом на твердість фериту, невеликий. Найбільш різко хром підвищує твердість і міцність мартенситу.

Внаслідок збільшення дисперсності структури легування хромом сталі сприяє деякому підвищенню класичних властивостей (поперечного звуження, подовження і ударної в'язкості). Однак збільшення вмісту хрому понад 1,0-1,5 % знижує ударну в'язкість.

Хром чинить значний вплив на фізичні властивості сталі: зменшує питому вагу і значно знижує теплопровідність. Хром підвищує стійкість сталі проти корозійної дії біосфери і деяких кислот при кімнатній, а також при підвищених температурах.

Хром підвищує температури нагріву сталі під відпал, гартування і зменшує необхідну критичну швидкість охолодження при гартуванні внаслідок збільшення здатності аустеніту до переохолодження. Чим вище температура гартування, нижче твердість безпосередньо після гартування внаслідок збільшення кількості залишкового аустеніту, але тим вище може бути твердість, одержувана після відпуску.

Хром підвищує прогартованість сталі тим більшою мірою, чим вище його вміст у сталі. Хром підвищує точки  $A_3$  і  $A_1$ . У міру збільшення його змісту зрушує

криву ізотермічного розпаду вправо, тобто збільшує стійкість аустеніту. При цьому легування сталі карбідотворними елементами (Cr, Mn) змінює характер ізотермічної кривої.

У сталях, легуваних цими елементами, стійкість аустеніту із збільшенням ступеня переохолодження (нижче  $A_1$ ) зменшується, досягає мінімуму близько 600-650 °C, а потім знову зростає.

Важливе значення має вплив елементів на поріг хладноломкості, що характеризує схильність сталі до крихкого руйнування. Наявність хрому в залізі сприяє деякому підвищенню порогу хладноломкості. Збільшення вмісту в сталі хрому або марганцю до 1 % практично не впливає на поріг хладноломкості. Проте при великих концентраціях поріг хладноломкості підвищується.

Марганець підвищує в'язкісні властивості сталі. Спільно з хромом сприяє підвищенню прогартованості. Однак марганець сприяє зростанню зерна і підвищенню температури хладноломкості до 40-60 °C.

Для зменшення схильності до зростання зерна в хромомарганцовисті сталі вводять титан. Титан зменшує схильність до зростання зерна, робить сталь 25ХГТ спадково дрібнозернистою, що не схильна до перегріву, що дає можливість проводити гартування з цементаційного нагріву.

Аналіз діаграми Fe-Cr (рис. 2.1) показує, що хром має одну модифікацію, яка кристалізується в об'ємноцентрованій решітці, ізоморфній  $\alpha$ -Fe. На діаграмі стану системи залізо-хром, побудованої за результатами термічних, мікроскопічних, дилатометричних і рентгеноструктурних досліджень, область  $\gamma$ - $\alpha$  - перетворення поширюється до 13% Cr. Крім сполуки FeCr за даними магнітного дослідження встановлено існування ще двох фаз, яким приписані формули  $Fe_4Cr_3$  і  $Fe_7Cr_6$ ; однак магнітометричні вимірювання повинні бути доповнені рентгеноструктурними дослідженнями. На підставі аналізу форми кривої  $\gamma$  -  $\alpha$  - перетворення та існування екстремальних точок на кривих склад - властивості висловлено припущення про існування з'єднання  $Fe_2Cr$  при температурах нижче 450 °C. Іншими дослідниками підтверджена ця точка зору і передбачається, крім того, існування  $FeCr_2$  і  $Fe_{14}Cr$ .



Хром знижує обидві точки алотропного перетворення заліза  $A_3$  і  $A_4$ . Точка  $A_4$  знижується швидше, ніж точка  $A_3$ , тому вони зливаються і область  $\gamma$  замикається при вмісті Cr в сплавах 13 %. Поблизу співвідношення хрому до заліза 1:1 утворюються нестійкі хімічні сполуки FeCr або  $\sigma$  - фаза. Верхня температура існування  $\sigma$  - фази становить 815 - 820 °С.  $\sigma$  - фаза є дефектною структурою хромистих сталей, тому що вона підвищує крихкість. При вмісті 13 і більше% хрому в сталях, вони стають корозійностійкими.

При малих змістах вуглецю (0,1 - 0,15 %) сталі з вмістом 13 і більше % хрому відносяться до феритного класу. Якщо вуглецю більше 0,15 % - то сталь мартенситного класу. Введення хрому в кількості 1 % збільшує прогартованість вдвічі.

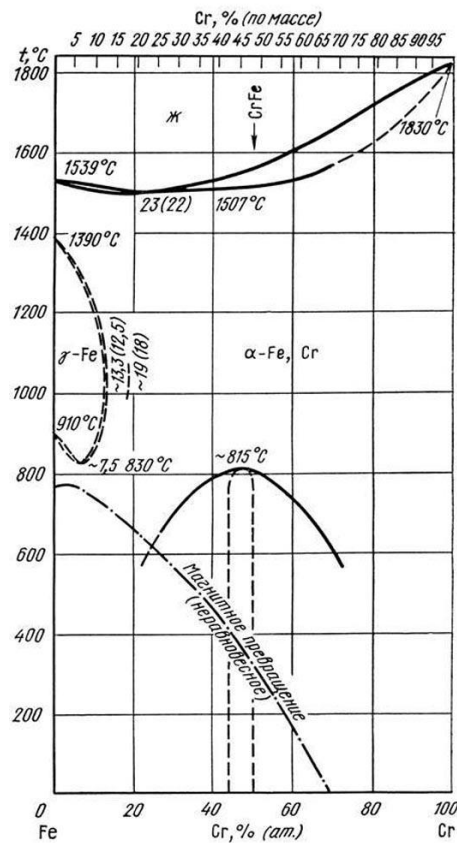


Рисунок 3.1 – Діаграма стану Fe–Cr [19]

Великий вплив на механічні властивості роблять шкідливі добавки, такі як сірка і фосфор.

Сірка є шкідливою домішкою в сталі. З залізом вона утворює хімічну сполуку FeS, яка практично не розчиняється в ній в твердому стані, але розчинна в рідкому металі. Сполука FeS утворює з залізом легкоплавкі евтектики з температурою плавлення 988 °С. Ця евтектика утворюється навіть при дуже малому вмісті сірки. Кристалізуючись з рідини по закінченню затвердіння, евтектика переважно розташовується по межах зерна. При нагріванні сталі до температури прокатки або кування (1000-1200 °С) евтектика розплавляється, порушується зв'язок між зернами металу, внаслідок чого при деформації сталі в місцях розташування евтектики виникають надриви і тріщини. Це явище носить назву червоноламкості (гарячеламкість).

Присутність в сталі марганцю, який володіє більшою спорідненістю до сірки, ніж залізо, і утворює із сіркою тугоплавку сполуку MnS, практично виключає явище червоноламкості. У затверділої сталі частинки MnS розташовуються у вигляді окремих включень. У деформованій сталі ці включення деформуються і виявляються витягнутими в напрямку прокатки.

Сірчисті включення знижують ударну в'язкість (КСУ) і пластичність ( $\delta$ ,  $\psi$ ) в поперечному напрямку витяжки при прокатці і куванні, а також межу витривалості. Робота зародження тріщин не залежить від вмісту сірки, а робота розвитку в'язкої тріщини КСТ і в'язкість руйнування Кс із збільшенням вмісту сірки знижуються. Сірка погіршує зварюваність і корозійну стійкість. Вміст сірки в сталі суворо обмежується; він не повинен перевищувати 0,035-0,06 %.

Фосфор є шкідливою домішкою і його вміст в залежності від якості сталі допускається не більше 0,025-0,045 %. Розчиняючись в фериті, фосфор сильно спотворює кристалічну решітку і збільшує межі міцності і текучості, але зменшує пластичність і в'язкість. Зниження в'язкості тим значніше, чим більше в сталі вуглецю. Фосфор підвищує поріг хладноломкості сталі і зменшує роботу розвитку тріщини. Здатність фосфору до сегрегації по межах зерен також сприяє окрихчуванню сталі.

Тому леговані сталі виготовляються з підвищеними вимогами до вмісту шкідливих домішок.

### 3.3. Методи дослідження

#### 3.3.1. Металографічні дослідження

Металографія – наука про будову (структуру) та фізичні властивості металів і сплавів [23]. Металографія вивчає закономірності утворення структури, досліджуючи макроструктуру і мікроструктуру металу (шляхом спостереження неозброєним оком або за допомогою світлового та електронного мікроскопів), а також зміни механічних, електричних, магнітних, теплових і інших фізичних властивостей металу залежно від зміни його структури.

Завданням металографічного дослідження є встановлення взаємозв'язку між якісними і кількісними характеристиками структури, фізичними, механічними, хімічними, технологічними та експлуатаційними властивостями металевих матеріалів.

Мікроаналіз – один з найчастіше використовуваних методів дослідження внутрішньої будови металів і сплавів. Завдання мікроаналізу різноманітні.

За допомогою макроаналізу можна вивчити форму і розмір кристалічних зерен, з яких складається метал, встановити які виміри внутрішньої будови відбуваються в досліджуваному матеріалі під впливом різного роду дій при  $T_0$  і ХТО, обробці тиском, зварюванні тощо. Найбільш важливою перевагою мікроаналізу є можливість розрізнити (побачити) в структурі сплаву, зерна (частки), що мають різний хімічний склад.

Передумовою для всіх металографічних досліджень є виготовлення шліфів, які можуть бути використані для мікроскопічного дослідження за допомогою світлового і електронного мікроскопів.

Виготовлення та підготовка металографічних шліфів зазвичай складається з послідовних операцій. Шліфування повинно починатися з найбільш дрібнозернистого матеріалу, здатного за 2-5 хв. створити вихідну рівну поверхню зразка і усунути ефект вирізки. Кожна наступна операція шліфування супроводжується зменшенням зернистості застосовуваного абразиву.

Полірування металографічних шліфів проводять для усунення наявних після нерівностей поверхні без деформування металу. Полірування шліфа може здійснюватися механічним, електролітичним або хімічним способами. Полірування триває 5-10 хв. Полірування закінчують після того, як мікрошліф набуває дзеркальну поверхню.

Відполірований зразок, перш за все, потрібно вивчити під мікроскопом в нетравленому стані. Вивчення нетравленого шліфа дозволяє визначити наявність дефектів (пор, тріщин, і т.п.) і неметалічних включень. Поверхню відполірованого зразка потрібно промити, знежирити і висушити. Для знежирення зазвичай застосовують етиловий спирт.

Під дією хімічних реагентів в чистих металах і однофазних сплавах, перш за все, відбувається виявлення меж зерен. Після травлення зразки промивають струменем проточної води і потім сушать (фільтрувальним папером або струменем повітря). До числа універсальних травників відносяться спиртові та водні розчини азотної кислоти [18].

Для дослідження мікроструктури застосовуються металографічні мікроскопи. Дослідження проводили на мікроскопі ММ-7 (рис. 3.2).



Рисунок. 3.2. - Мікроскоп металургійний ММ-7

Металографічний мікроскоп використовують для вивчення непрозорих тіл у відбитому світлі.

### 3.3.2. Випробування металу на твердість

Твердість металу або сплаву дуже впливає на тривалість роботи деталей. Від твердості значною мірою залежить міцність деталі і стійкість поверхні до спрацювання.

Для визначення твердості досліджуваної сталі застосовують метод Бринеля.

Метод вимірювання твердості за Бринелем регламентований ГОСТ 9012-59 [19].

Для випробування твердості металів за цим методом застосовують прилад типу ТШ (твердомір кульковий).

Для зручності є таблиці чисел твердості за Бринелем і залежно від діаметра кульки  $D$ , діаметра відбитка  $d$  і навантаження  $P$ .

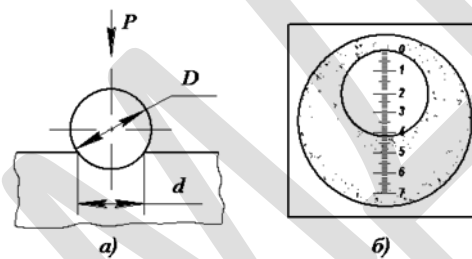


Рисунок 3.3 - Вимірювання твердості методом Бринеля: а – схема утворення відбитка; б – вимірювання діаметра відбитка [20]

Як індентор використовується сталева загартована кулька діаметром 10; 5 або 2,5 мм, яка вдавлюється у поверхню матеріалу під навантаженням від 153 до 29400 Н (від 15,6 до 3000 кг). На поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) у формі кульового сегмента діаметром  $d$  (рис. 3.2, а). Цей діаметр вимірюють за допомогою спеціального мікроскопа, на окуляр якого нанесена вимірювальна шкала з поділками, що дорівнюють одній десятій долі міліметра. Діаметр відбитка визначають середнім значенням двох його вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,05 мм (рис. 3.2, б). Число твердості за Бринелем, яке позначається літерами НВ.

Твердість по Роквелу вимірюють на приладах типу ТК шляхом втискування алмазного конуса з кутом при вершині  $120^\circ$  або сталеві кульки діаметром 1,58 мм в досліджуваний об'єкт.

### 3.3.3. Випробування на мікротвердість

Вимірювання товщини і мікротвердості шару, отриманого після операцій хіміко-термічної обробки проводили за допомогою приладу ПМТ-3 (рис. 3.3), точність 0,3 мкм. Прилад ПМТ-3 працює за принципом вдавлювання. Мікротвердість визначають втискуванням алмазної піраміди.

Прилад типу ПМТ- 3, розроблений М. М. Хрущовим і Е. С. Берковичем (рисунок 3.4), має штатив 8 вертикального мікроскопа з тубусом, що переміщається вгору і вниз за допомогою макрометричного гвинта 6 і мікрометричного гвинта 5. На верхній кінець тубуса насаджений окулярний мікрометр 7, а в нижньому кінці закріплені шток 2 з алмазною пірамідою, опакілюмінатор 9 і об'єктиви 10.

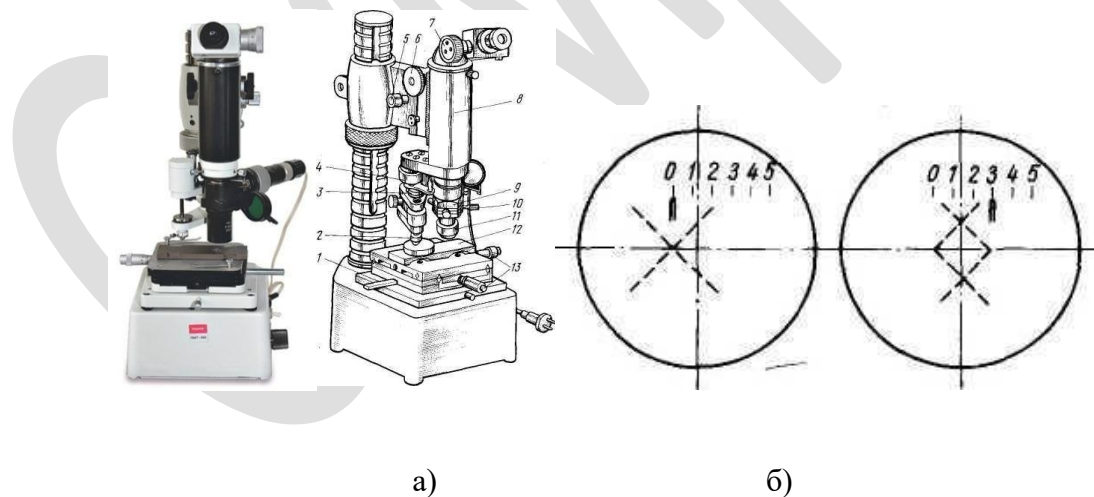


Рисунок 3.4. - Вигляд приладу ПМТ-3: а) схема приладу ПМТ-3 для виміру мікротвердості; б) схема виміру відбитків на приладі мікротвердості

У опакілюмінаторі є лампочка напругою 6 В, живлена від електромережі через трансформатор. За допомогою мікрометричних гвинтів 13 переміщують столик в необхідному напрямі. Ручка 1 служить для повороту столика на 90°.

## **Висновки**

В третьому розділі обрано та обґрунтовано заміну сталей 12Х2Н4А на 25ХГТ для виготовлення деталі «бандаж зубчастого колеса». За ціною сталь 25ХГТ значно дешевше, ніж нікелевмісна сталь 12Х2Н4А, а також для спадково дрібнозернистої сталі 25ХГТ більш простий і менш енергоємний процес хіміко-термічної і термічної обробки. Для сталі 25ХГТ також можлива більш висока температура цементації, що скорочує час проведення процесу, сталь не схильна до перегріву і росту зерна, тому гартування після цементації можливе з нагріву під хіміко-термічну обробку, а також немає необхідності проводити обробку холодом для усунення залишкового аустеніту після гартування.

Крім того було запропоновано методи дослідження матеріалу на всіх етапах його термічної обробки. Таким чином, металографічні дослідження включають макро- та мікроскопічний аналізи, які виконують за допомоги металургійного мікроскопу МІМ-7. Вимірювання твердості проводять на приборах типу ТК та ТШ, а також вимірюють мікротвердість після хіміко-термічної обробки приладом типу ПМТ-3.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Для отримання деталей на виробництві будують технологічний процес, який є поєднанням технічних, економічних і деяких організаційних завдань, що вирішуються при виготовленні будь-якої деталі.

При розробленні технологічного процесу потрібно враховувати всі вимоги до деталі, розробити креслення і технічні умови виготовлення, при мінімальних затратах і невисокій собівартості.

При розробці технологічного процесу розроблюють маршрутну технологію виготовлення деталі. Вона повинна включати:

- послідовність технологічних операцій (від початку до кінця);
- обладнання для проведення вказаних операцій.

Маршрутна технологія виготовлення деталі «вал-шестерня» приведена у табл. 4.1.

Маршрутна технологія виготовлення деталі – це сукупність послідовних операцій від початку до кінця виготовлення виробу.

Маршрутна технологія складається з таких етапів:

- Етап 1. Металургійне отримання сталі;
- Етап 2. Отримання заготовки;
- Етап 3. Попередня термічна обробка;
- Етап 4. Механічна обробка;
- Етап 5. Остаточна термічна обробка;
- Етап 6 Чистова механічна обробка;
- Етап 7. Вихідний контроль.



Таблиця 4.1

## Маршрутна технологія виготовлення виробу

№ операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо-видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо-видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовка шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовка (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вирівнювання	Міксерне	Міксерні

			хімічного складу чавуну	відділення	
.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конверторна піч	Мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку	Конверт. піч	Ковші шлаковози
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугове печі	Електродугов а піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугов а піч	Завальні машини
		6	Безперервне розливання	Установка безперерв. лиття	-
Етап 2. Отримання заготовки					
.1	Отримання штамповки	1	Нагрівання заготовки під гарячу обробку	Термічна дільниця	Камерна піч

			тиском		
		2	Штапування у відкритому штампі	Пневматичний молот	Бойки, маніпулятор, штамп
		3	Контроль розмірів і шорсткості поверхні	Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
.1	Попередня ТО	1	Нормалізація	Термічна дільниця	Камерна піч з висувним подом СДО -8.16.8/11,5
.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю	Твердомір ТШ-2, індентор
Етап 4. Механічна обробка					
.1	Вхідний контроль якості	1	Ультразвукова дефектоскопія	Ультразвуковий дефектоскоп	-
.2	Чорнова токарна обробка	1	Чорнове точіння контурів деталі поверхні	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
.3	Фрезерування	1	Фрезерування пазів	Вертикально-фрезерний верстат	Набір фрез
.4	Точіння	1	Виточування фаски	Токарний верстат	Набір різців
.5	Зубофрезерна	1	Чорнове нарізання зубців	Зубофрезерний верстат	Черв'ячна модульна фреза
.6	Чистова обробка	1	Чистове точіння контурів деталі	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців

Етап 5. Остаточна термічна обробка						
.1	ХТО	1	Цементация наступним гартуванням цементацийного нагрівання	3 3	Термічна дільниця	Шахтна цементацийна піч СШМЦ - 8.12/9,5
		2	Контроль якості цементацийного шару (мікротвердість, товщина шару)		Металографічна лабораторія	Прилад ПМТ-3, металографічний мікроскоп
		3	Низький відпуск		Термічна дільниця	Шахтна піч для відпуску ПШО - 8.12/711
.2	Контроль	1	Вимірювання твердості, аналіз мікроструктури після термічної обробки		Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індентор, метал. мікроскоп
Етап 6. Чистова механічна обробка						
.1	Шліфування	1	Шліфування поверхні деталі у відповідності до креслення, надання деталі необхідної шорсткості		Кругло-шліфувальний верстат	Круг шліфувальний
		2	Полірування зубів		Полірувальний верстат	Круг полірувальний
Етап 7. Вихідний контроль						
.1	Вихідний контроль	1	Контроль геометричних розмірів		Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89,

				зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба, фаскомір
	2	Контроль властивостей (твердість), ультразвукова дефектоскопія	Дільниця контролю	Твердомір, дефектоскоп

### **Висновки**

В четвертому розділі було обрано технологію отримання виробу оптимальну при заданій серійності виробництва та розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі.

Таким чином, притримуючись сучасних тенденцій металургійного виробництва сталь отримуємо дуплекс процесом. Для отримання заготовки, зважаючи на серійність виробництва, використовуємо метод гарячого об'ємного штампування у відкритому штампі. Попередня термічна обробка включає нормалізацію. Після остигання штамповки, проводимо механічну обробку для надання деталі необхідної форми та розмірів.

Для нарізання зубців використовується модульна черв'ячна фреза. Після механічної обробки проводиться термічна обробка, що полягає в поверхневій нітроцементації з наступним гартуванням з цементаційного нагріву та низькотемпературному відпуску.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1. Розробка альтернативного методу термічної обробки

За базовим заводським варіантом деталь «бандаж» зі сталі 12Х2Н4А піддається таким видам термічної і хіміко-термічної обробки:

- 1) Цементация газова при температурі 930 °С, тривалістю ~ 10 годин;
- 2) Відпуск високий при температурі 660-680 °С, тривалістю 3 - 3,5 годин;
- 3) Гартування при температурі 800-820 °С, тривалістю ~ 3 години;
- 4) Відпуск низький при температурі 180-200 °С, тривалістю 3 - 4 години.

Загальний час базової ТО і ХТО складає ~ 23-24 годин (рис.2.2).

Нами пропонується більш економічний і менш енергоємний процес термічної і хіміко-термічної обробки деталі «бандаж» зі сталі 25ХГТ. Загальний час пропонованої термічної і хіміко-термічної обробки складає 15,0 - 16,0 годин, що  $\approx$  в 2 рази швидше, ніж базовий варіант.

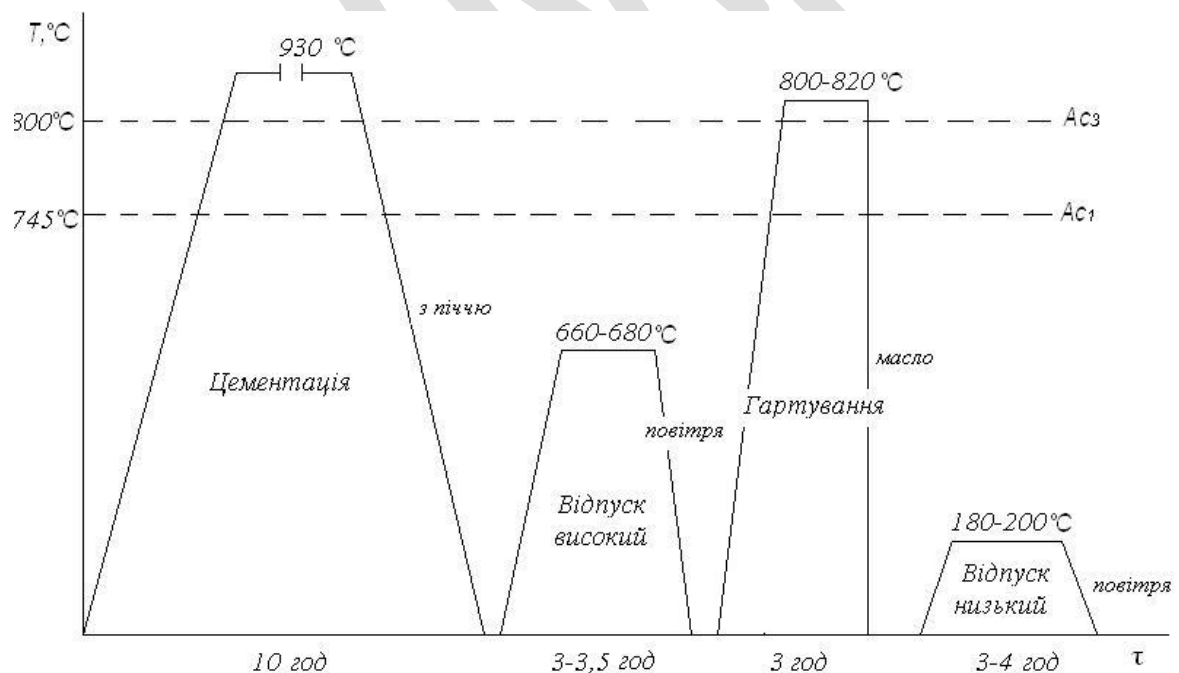


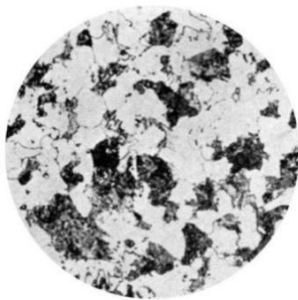
Рисунок 5.1 - Графік режиму термічної і хіміко-термічної обробки деталі «бандаж» зі сталі 12Х2Н4А

Термічна обробка деталі «бандаж» складається з двох видів:

1) Попередня термічна обробка - нормалізація, виконується після отримання заготовки деталі «бандаж» методом гарячого штампування для зняття напружень та виправлення крупного зерна, що виникає в результаті перегріву заготовки перед штампуванням.

Мета попередньої термічної обробки є: поліпшення оброблюваності металу для виготовлення виробів; підготовка структури металу для остаточної термічної обробки, тобто отримання однорідної дрібнозернистої структури; зняття наклепу, зниження рівня внутрішніх напруг; поліпшення комплексу механічних властивостей.

Попередньою термічною обробкою сталі 25ХГТ є нормалізація, температура якої знаходиться в інтервалі 870-890 °С, потім йде витримка при цій температурі і охолодження на спокійному повітрі з метою додання металу однорідної дрібнозернистої структури (не досягнутою на попередньому процесі — куванні або прокатці) і як наслідок — підвищення його механічних властивостей пластичності і ударної в'язкості). Після нормалізації отримуємо структуру: ферит+перліт.



x500

Рисунок 5.1 - Структура сталі 25ХГТ після нормалізації

Згідно технічним вимогам для отримання на поверхні деталі «бандаж» твердості 58-62 HRC після механічної обробки проводимо газову цементацію.

2) Остаточна хіміко-термічна та термічна обробка:

а) цементація газова при температурі 930-950 °С;

б) гартування поверхні з цементацийного нагріву при температурі 800-820 °С, тривалістю ~ 8-10 годин (дві операції спільно);

в) відпуск низький при температурі 180-200 °С, тривалістю ~ 2,5-3,0 години.

Процес цементації широко застосовується в промисловості завдяки його високій ефективності та доступності. Він дозволяє створювати на робочій поверхні деталі шар, що володіє високою твердістю після гартування, зносостійкістю, ерозійною стійкістю, контактною витривалістю і втомною міцністю при вигині. Ці властивості забезпечуються при відносно м'якій і в'язкій серцевині, що надає необхідну конструктивну міцність оброблюваних виробів.

Структура цементованого шару на поверхні низьковуглецевої сталі після повільного охолодження показана на рис. 5.2. Зазвичай її зіставляють зі схемами на рис. 5.2. Зовнішня частина шару, що містить більше 0,8 % С, має структуру заевтектоїдних сталей - перліт і вторинний цементит, який при повільному охолодженні виділяється на межах аустенітних зерен у вигляді оболонок (на шліфі сітка). Середня частина шару, що має евтектоїдну концентрацію, складається з перліту. Далі у напрямку до серцевині концентрація вуглецю зменшується, структура відповідає доевтектоїдній сталі, причому кількість перліту зменшується при наближенні до серцевини.

Одним з видів місцевого насичення вважають газову цементацію з використанням газополум'яного нагрівання киснево-ацетиленовим полум'ям, а також бензино-повітряним полум'ям при подачі в нього складових, що насичуються вуглецем.



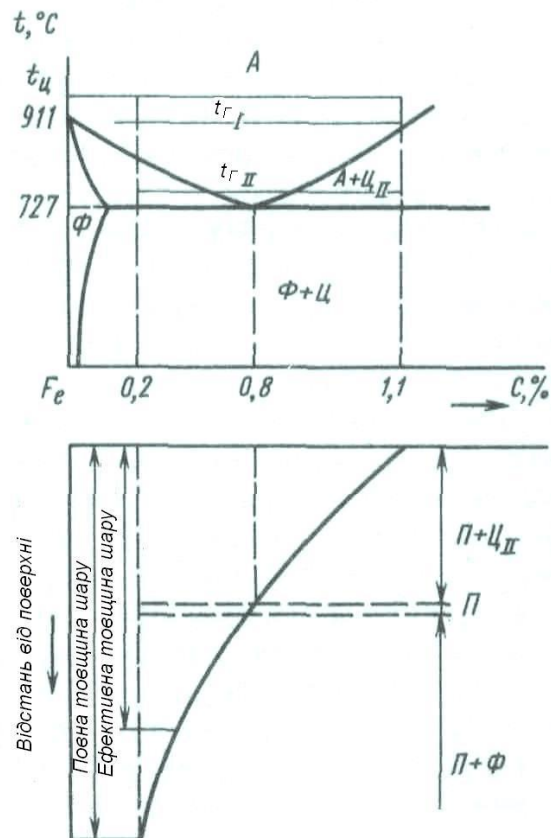


Рисунок 5.2 - Ділянка діаграми Fe - Fe<sub>3</sub>C. Зміна змісту вуглецю і структури по товщині цементованого шару (схема):  $t_{ц}$  - температура цементації;  $t_{ГI}$  - температура нагріву при першому гартуванні;  $t_{ГII}$  - температура нагрівання при другому гартуванні [21].

Цементацію з використанням рідких карбюраторів проводять шляхом подачі рідких карбюраторів безпосередньо в піч при зануренні оброблюваних деталей в рідкий вуглеводневий карбюратор, створення газового середовища на спеціальних установках (застосовуються порівняно рідко). Крекінг-піролізу, зазвичай, піддають пропан, пропан-бутанові суміші і гас. Їх здатність насичуватися вуглецем показана в табл. 5.1

Час цементації залежить від методу цементації і її температури. Для газової цементації з використанням рідких карбюраторів залежність товщини шару від температури наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1

Вплив режиму цементації в суміші крекорованого пропан-бутанового газу з пропан-бутаном (5:1, витрата газу 6 л/год) на товщину шару сталі 20

t, °C	h, мм, при τ, год					
	2	4	6	8	10	12
825	0,25	0,38	0,48	0,6	0,7	0,76
875	0,3	0,6	0,8	1,03	1,22	-
925	0,4	0,75	1,03	1,3	1,55	1,75
975	0,88	1,28	1,55	1,8	2,0	2,17

Таблиця 5.2

Середні значення швидкості газової цементації  $V_{cp}$  при різній температурі і товщині шару)

h, мм	$v_{cp}$ , мм/год, при t, °C						
	850	875	900	925	950	975	1000
До 0,5	0,35	0,40	0,45	0,55	0,75	-	-
0,5-1,0	0,16	0,20	0,30	0,40	0,55	0,85	0,96
1,0-1,5	0,01	0,15	0,20	0,30	0,40	0,55	0,75
1,5-2,0	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,38	0,55
2,0-2,5	0,04	0,07	0,12	0,15	0,20	0,32	0,40
2,5-3,0	-	-	0,10	0,13	0,18	0,28	0,35
3,0-3,5	-	-	0,07	0,10	0,16	0,21	0,27
3,5-4,0	-	-	0,04	0,06	0,12	0,18	0,25

Головний недолік технології - складність отримання сумішей і висока схильність до сажоутворення. Спрощення досягають безпосереднім введенням рідкого карбюратора в пічний простір. Доцільне його розпилення (табл. 5.2).

Газову цементацію, здійснювану зануренням виробів у рідкі органічні середовища (гас, толуол, етиловий спирт, синтин, бензол, ацетон, ксилол, фенол

та їх водні розчини), проводять з використанням нагріву ТВЧ, електронагрівання або електролітного нагріву (тліючий розряд) (табл. 2.7, 2.8). Газова сорочка, що утворюється при проведенні насичення даним методом в метиловому спирті, має склад, %: CO - 28; CH<sub>4</sub> - 4,2; H<sub>2</sub> - 61,5; O<sub>2</sub> - 2,0; інші складові - 4,3. Певний інтерес представляє проведення цементації в насичених вуглеводневих розчинах (сольових): насиченому розчині кухонної солі в етилгліколю, розчинах фенолу, нафталіну, стиролу, полівінілового спирті в гліцерині.

Таблиця 5.3

Вплив тривалості цементації при 930 °С в різних карбюраторах (без урахування часу прогріву) на товщину шару на сталях типу 25ХГТ

Номер п.п.	τ, год, в карбюраторі						h, мм
	гас	бензин	піробе нзол	трансфор маторне масло	вере- тенинне масло №3	синтин	
1	3-4	-	3-4	-	-	2,5-3	0,4-0,7
2	5-7	-	4-6	4-6	7-9	3-4	0,7-1,0
3	7-9	8-10	6-8	5-8	10-12	5-6	1,0-1,3
4	9-11	10-12	8-10	8-10	12-14	6-8	1,3-1,6
5	11-13	13-15	10-12	10-12	14-17	8-10	1,6-1,9
6	13-15	15-18	-	-	-	-	1,9-2,3

Примітка. Витрата карбюратора для важких нафтопродуктів 30-40, для легких 50 кап/хв.

Застосування рідких карбюраторів виключає використання гартівних середовищ. Гартування здійснюють в насичуваному середовищі після відключення деталі від ланцюга електричного струму. При контактному електронагріванні деталей найбільш раціонально використовувати бензол або етиловий спирт.

Перевага цементації шляхом занурення виробів у рідкий вуглеводневий карбюратор полягає в тому, що не потрібні герметичні контейнери, нагрівальні

печі та спеціальні газові генератори. Недоліки способу: необхідність енергійного охолодження рідини, непродуктивні втрати електроенергії, трудомісткість обробки дрібних деталей і труднощі точного контролю температури поверхні оброблюваного виробу.

Газові цементовані середовища можна також отримувати спалюванням твердих речовин, що містять вуглець (деревного вугілля, кам'яного вугілля та ін.) у спеціальних генераторах. До них відносять світильний, генераторний, коксовий, кам'яновугільний і інші гази. Склади їх непостійні, тому їх використовують лише в суміші з багатими (природними) газами. Вони не знайшли широкого промислового застосування.

Таблиця 5.4

Вплив типу карбюризатора при цементації з використанням нагріву ТВЧ (1100 °С) на товщину і мікротвердість шару на сталі

Карбюризатор	$\tau_{\text{виг}} = 7,5 \text{ с}$				$\tau_{\text{виг}} = 10 \text{ с}$			
	h	h	h	H	h	h	h	H
	заевт	евт	заг	μ,	заевт	евт	заг	μ,
	Мкм			МПа	Мкм			МПа
Гас	-	22	28	2540	55	65	150	7000
Бензол	15	37	67	3980	180	150	460	7240
Ацетон	83	53	182	8200	190	140	440	8800
Ксилол	35	60	105	7240	200	100	385	7800

Сучасна технологія газової цементації, крім розширення використання різних видів нагріву, вакууму і нових середовищ, розвивається також у напрямку створення і впровадження приладів автоматичного регулювання вуглецевого потенціалу пічної атмосфери, розробки автоматичних кібернетичних схем управління процесів, вдосконалення існуючих методів і режимів.

Таблиця 5.5

Вплив концентрації ацетону при цементації з використанням нагріву СВЧ (1150 °С, 15 с) на товщину  $h$  і мікротвердість  $H_c$  шару на сталі

Концентрація ацетону, % (об'ємн.)	Заевтектоїд на зона		Евтектоїдн а зона		Перехідна зона		$h_{\text{заг}}$ , мкм
	$h$ , мкм	$H$ , МПа	$h$ , мкм	$H$ , МПа	$h$ , мкм	$H$ , МПа	
	3,5	-	-	52	4300	15	
7,0	17	8300	50	3800	17	1900	84
14,0	26	7960	64	5840	24	2400	114
28,0	35	8240	82	6520	47	2360	164

Для газової цементації, в нашому випадку, в якості карбюратора застосовуємо рідкий вуглеводень газ, який краплями подається в герметичний робочий простір печі, де він після крекінг-піролізу утворює активне газове середовище з атомарним вуглецем. Насичення вуглецем відбуватиметься в тому випадку, якщо концентрація вуглецю на поверхні деталі буде менше вуглецевого потенціалу газової суміші при даній температурі.

Сталь для деталі «бандаж» марки 25ХГТ - спадково дрібнозерниста, не схильна до перегріву, тому температуру цементації вибираємо підвищену - до 950 °С, що прискорює процес дифузії і формування насиченого вуглецем шару. При цій температурі швидкість дифузії, при товщині одержуваного шару до 1,5 - 2,0 мм,  $\sim 0,3$  мм/ч. Отже, час цементації 8 - 10 годин з урахуванням нагрівання до температури цементації і отримання стійкого вуглецевого потенціалу в реторті печі.

Після цементації вміст вуглецю в поверхневому шарі - 0,9...1,0 % С, а серцевина містить таку ж кількість вуглецю, як в сталі 25ХГТ ( $\sim 0,25$  %). Структура цементованого шару представлена на рис. 5.3.

Для отримання заданого комплексу механічних властивостей після цементації необхідна додаткова термічна обробка деталей, яка полягає у виправленні перегрітої при цементації структури, усуненні цементитної сітки в поверхневому заевтектоїдному шарі, а також для отримання необхідної поверхневої твердості 58 - 62 HRC .

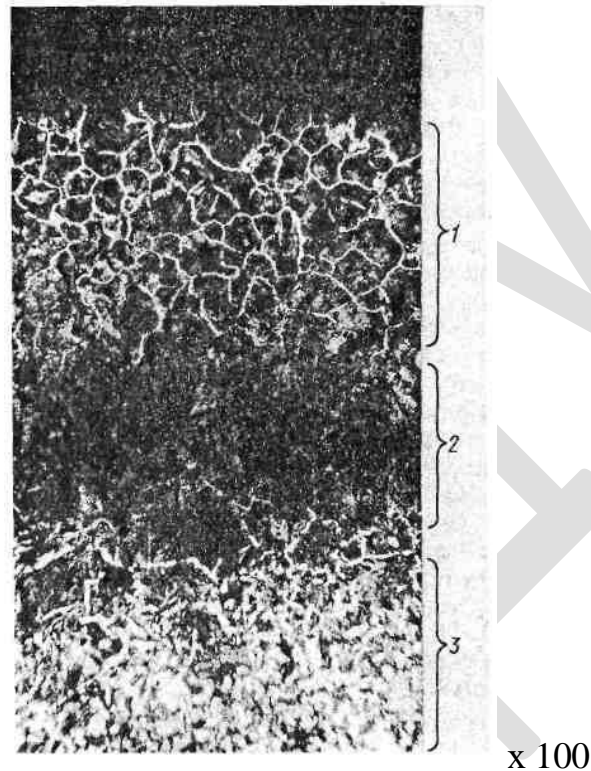


Рисунок 5.3 - Мікроструктура цементованого шару: 1 - заевтектоїдна зона; 2 - евтектоїдна зона; 3 – доевтектоїдна зона

Для обраної нами стали можливе проведення гартування з цементаційного нагріву, так як сталь не схильна до перегріву і немає необхідності виправляти крупне зерно . Цементитна сітка при вмісті вуглецю, близькому до евтектоїдного, також буде мало виражена.

Гартування з цементаційного нагріву також ефективно знижує деформації деталі.

Технологічно гартування з цементаційного нагріву проводиться наступним чином :

Після припинення подачі карбюризатора охолоджуємо піч до температури 830-850 °С; дана температура відповідає температурі гартування заевтектоїдного цементованого шару;

1) Витримуємо деталі при цій температурі для вирівнювання її по перерізу деталі;

2) Проводимо охолодження в маслі до +20 °С.

Структура після гартування буде: на поверхні - мартенсит гартування, карбіди і невелика кількість аустеніту залишкового, в перехідному евтектоїдному шарі - мартенсит гартування, в серцевині – сорбітоподібний перліт і ферит.

Для формування остаточних, згідно технічних вимог, властивостей і зняття небезпечних гартівних напруг проводимо відпуск низький при температурі 150-170 °С. Графік режиму термічної і хіміко-термічної обробки наведено на рис. 2.5 та в додатку В.

Цементовані деталі піддаємо шліфуванню.

Після термічної і хіміко-термічної обробки контроль механічних властивостей і мікроструктура підтверджує отримання необхідних властивостей :

- $\sigma_{0,2} \approx 850-870$  МПа;
- $\sigma_B \approx 1150-1200$  МПа;
- $\delta \approx 10 - 15\%$ ;
- $\psi \approx 50\%$ ;
- $KCU \approx 1,0 \div 0,9$  МДж/м<sup>2</sup>;
- Твердість 58-62 HRC.

Товщина цементованого шару  $\approx 1,5 \dots 2,0$  мм.

Загальний час базової ТО і ХТО  $\sim 23-24$  год., пропонованої – 15-16 год.

Для проведення експерименту нами були виготовлені зразки 10x10x15 із сталі 25ХГМ. Вихідна структура зразків Ф+П, твердість 190 НВ (рис. 5.5).

Для зняття напружень та виправлення крупного зерна, що виникає в результаті перегріву заготовки перед штампуванням після отримання заготовки деталі «бандаж» методом гарячого штампування проводимо нормалізацію. Режим нормалізації:  $T=870-890$  °С, витримка 2,5 -3 год., охолодження на спокійному

повітрі. Після такої обробки отримуємо структуру ферит і сорбітоподібний перліт (рис. 5.4). Твердість зразків 180-190 НВ.

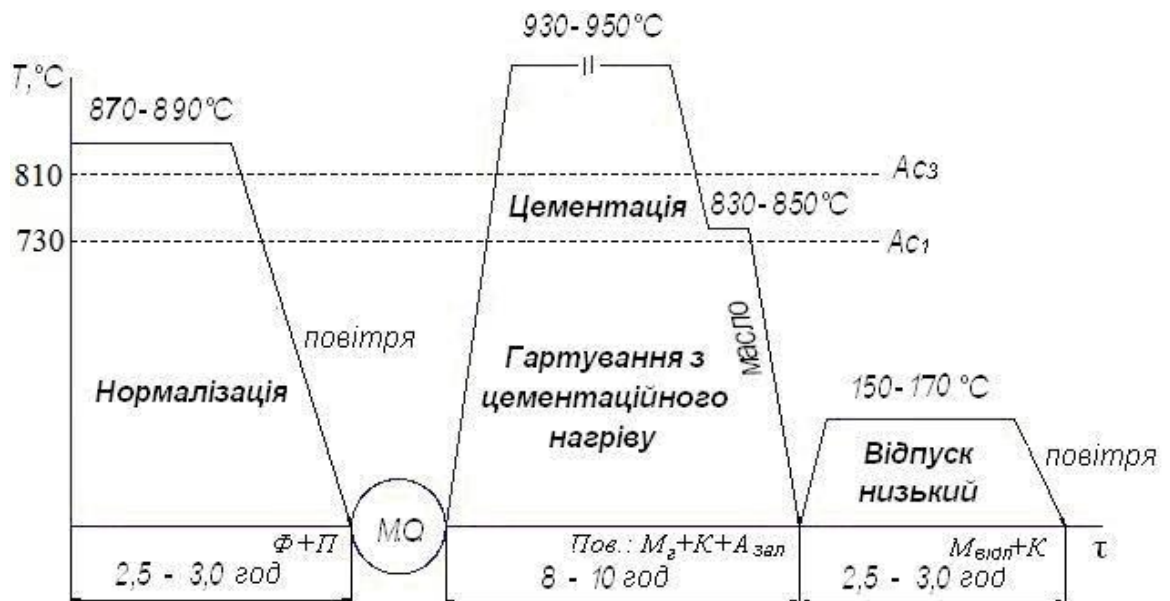


Рисунок 5.4 - Графік режиму термічної і хіміко-термічної обробки деталі «бандаж» зі сталі 25ХГТ



Рисунок 5.5 - Мікроструктура сталі 25ХГМ

Перед цементацією поверхню зразків очистили від слідів окалини, іржі і інших забруднень. Процес цементації здійснювали на виробництві.



Після цементації з поверхні утворюється шар, збагачений вуглецем (0,9-1,0 %). Твердість поверхневого шару збільшилася до 260-280 НВ.

Мікроструктура цементованого шару сталі 25ХГТ представлена на рис. 5.6.

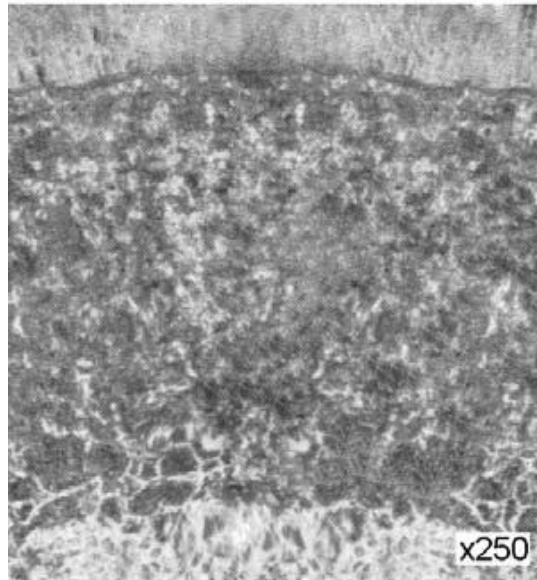


Рисунок 5.6 - Мікроструктура сталі 25ХГТ після цементації, x250

Для отримання заданого комплексу механічних властивостей після цементації необхідна додаткова термічна обробка деталей, яка полягає у виправленні перегрітої при цементації структури, усуненні цементитної сітки в поверхневому заевтектоїдному шарі, а також для отримання необхідної поверхневої твердості 58 - 62 HRC .

Для обраної нами сталі можливе проведення гартування з цементаційного нагріву, так як сталь не схильна до перегріву і немає необхідності виправляти крупне зерно. Цементитна сітка при вмісті вуглецю, близькому до евтектоїдного, також буде мало виражена.

Гартування з цементаційного нагріву також ефективно знижує деформації деталі.

Структура після гартування буде: на поверхні - мартенсит гартування, карбіди і невелика кількість аустеніту залишкового, в перехідному евтектоїдному

шарі - мартенсит гартування, в серцевині – сорбітоподібний перліт і ферит (рис. 5.7, а).

Для формування остаточних, згідно технічних вимог, властивостей і зняття небезпечних гартівних напруг проводимо відпуск низький при температурі 150-170 °С (рис. 5.7, б).

Твердість зразків отримуємо 58-62 HRC.

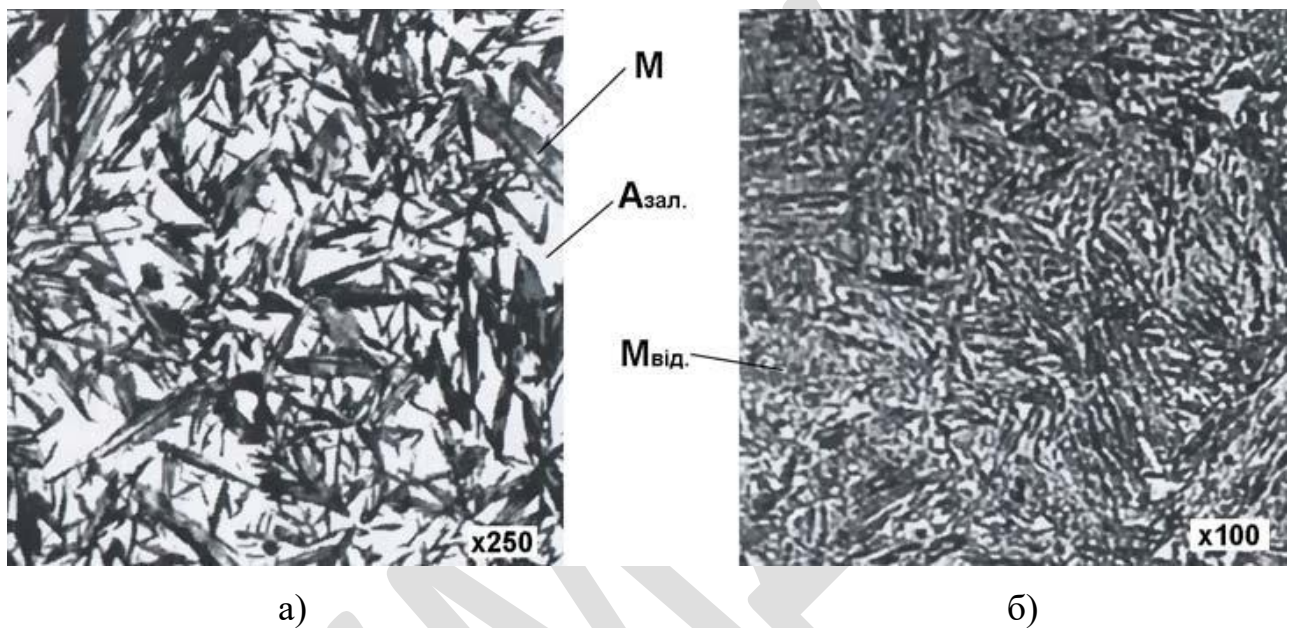


Рисунок 5.7 - Мікроструктура поверхневого шару цементованої сталі 25ХГМ після гартування (а) і низького відпуску (б)

## 5.2. Розрахунок виробничої програми

Устаткування термічного цеху повинно бути розташоване так, щоб був вільний доступ до всіх печей, мийних машин, гартувальних баків і щоб між ними був вільний простір ні чим не закладене і не заставлене. Особливо важливо, щоб були досить широкі і вільні проходи біля дверей печей і на шляху до гартівних баків.

Все обладнання ділиться на три групи:

- Основне обладнання;
- Додаткове обладнання;

- Допоміжне обладнання.

До основного обладнання відноситься устаткування, що застосовується для виконання технологічних операцій термообробки, пов'язаних з нагріванням і охолодженням деталей:

- Печі;
- Нагрівальні установки;
- Охолоджуючі пристрої.

До додаткового обладнання належить обладнання для виконання додаткових технологічних операцій в ТЦ - правка та очищення деталей:

- Правильні преси;
- Очисні установки (травильні ванни, дробоструйні апарати, мийні машини і т.д.).

До допоміжного устаткування відносяться установки для приготування карбюратора і контрольованих атмосфер, підйомно-транспортне обладнання, теплоенергетичне обладнання (апарати для охолодження гартувальної рідини, санітарно-технічне обладнання (витяжки), повітродувки, вентилятори).

Вибір основного обладнання починається з аналізу використовуваного на заводі обладнання, обговорення його переваг і недоліків. Також необхідно розглянути які види обладнання мають більшу продуктивність, забезпечують кращу якість термообробки, краще механізовані й автоматизовані.

### **5.3. Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання**

Застосування високопродуктивного, надійного в експлуатації обладнання дозволяє знизити в проєктованій термічній ділянці собівартість ТО і ХТО, підвищити продуктивність і забезпечити високу якість продукції.

Все обладнання можна розділити на три груп:

1. Основне обладнання, пов'язане з нагріванням і охолодженням виробу ;

2. Додаткове обладнання для виконання додаткових операцій;

3. Допоміжне обладнання (установки для приготування контрольованих атмосфер і карбюризатора, теплоенергетичне обладнання).

Тип обладнання для проєктованого цеху вибирається на підставі розробленого технологічного процесу термічної обробки і режимів термічної обробки. Вибір обладнання залежить також від способу виконання операцій, який встановлюється залежно від наступних факторів:

1. Характер завантаження:

а) поштучний або партіями, садками - застосовується в цехах індивідуального і дрібносерійного виробництва, здійснюється на обладнанні періодичної дії камерні і шахтні печі), здатні до швидкого переналагодження технологічного режиму;

б) безперервний - застосовується в цехах масового і великосерійного виробництва і здійснюється на потоковому обладнанні безперервної дії (агрегати, конвеєрні та толкательні печі).

2. Положення виробів у процесі обробки:

а) стаціонарне;

б) переміщення по повторюваній траєкторії;

в) поступальне переміщення.

3. Поєднання операцій:

а) послідовне;

б) паралельне;

в) паралельно-послідовне .

4. Режим роботи обладнання:

а) періодичний;

б) напівбезперервний;

в) безперервний.

### 5.3.1. Розрахунок основного обладнання

Вибір основного обладнання починається з аналізу існуючого на заводі обладнання, обговорення його переваг та недоліків. Також необхідно розглянути, які види основного обладнання мають більшу продуктивність, забезпечують кращу якість термообробки, краще механізовані й автоматизовані.

До основного обладнання належить обладнання, що застосовується для виконання технологічних операцій, пов'язаних з нагріванням і охолодженням деталей: печі, нагрівальні пристрої і установки, охолоджуючі пристрої.

Для проведення нормалізації вибираємо камерну електричну піч СНЗ - 8.16.5/10.

Деталі при завантаженні розміщуємо на піддоні.

Цементацию і гартування з цементацийного нагріву проводимо в шахтній муфельній печі СШЦМ - 6.12/9. Схема шахтної муфельної печі СШЦМ - 6.12/9 приведена на рис. 2.10 та в додатку Г. Технічна характеристика печі наведена в табл. 2.9.

Для відпуску вибираємо шахтну електричну піч СШО - 6.12/7.

Таблиця 5.4

Основні технічні дані електричної шахтної муфельної печі

Індекс печі	Розміри робочого простору, м		Об'єм робочого	Температура, °С	Габарити, м	Садка, т	Продуктивність, кг/год	Потужність, кВт
	діаметр	висота						
СШМЦ-6.12/9	0,60	1,2	0,34	950	2,7×2,6×3,6	1,2	70	105

Для умовного проектування ділянки термічної і хіміко-термічної обробки деталі «бандаж» зубчастого колеса вибираємо для нормалізації 2 печі СНЗ -

8.16.5/10; для цементації і гартування - 3 печі СШЦМ - 6.12/9, для відпуску - 2 печі СШО - 6.12/7.

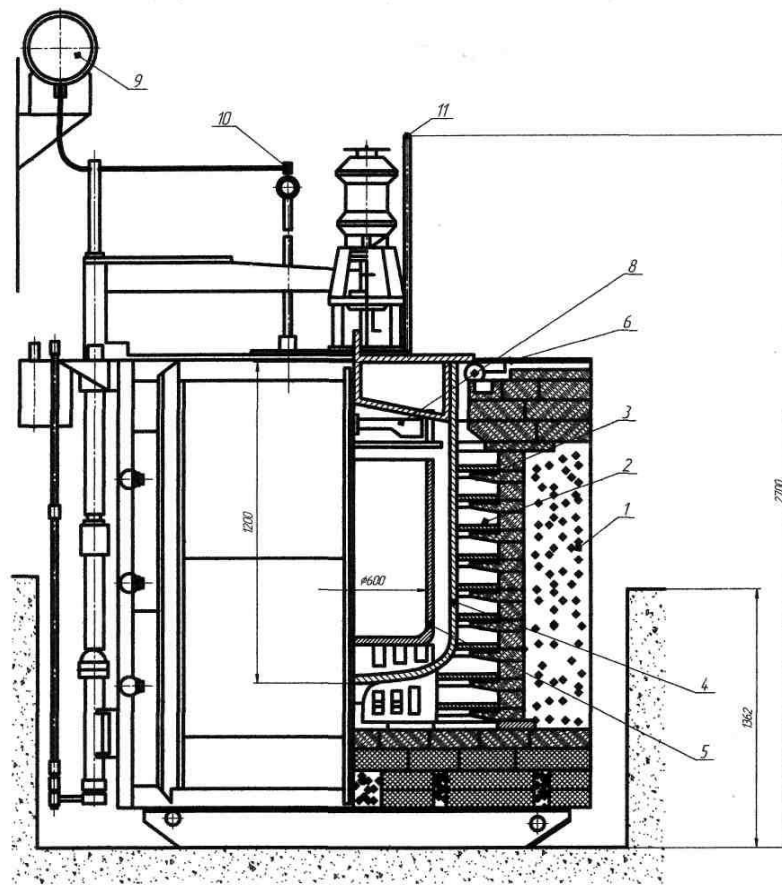


Рисунок 5.9 - Шахтна муфельна цементаційна піч СШЦМ - 6.12/9: 1 - металевий каркас; 2 - нагрівальна камера; 3 - нагрівальний елемент; 4 - жаротривка реторта; 5 - кошик для деталей; 6 - кришка; 7 - гідравлічний механізм; 8 - вентилятор; 9 - бачок для рідини; 10 - кран регулювальний; 11 - отвір для відпрацьованого газу.

Для охолодження вибираємо вертикальний гартівний бак з поворотною траверсою. Габаритні розміри: діаметр 1200 мм, висота 2500 мм.

Деталі, загартовані в маслі, перед відпуском піддаємо очищенню від масла. Для цього деталі промиваємо в гарячому (80-90 °С) 10 % водному розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  за допомогою конвеєрної мийної машини типу ММК (рис. 2.11) або в металевому

баку шириною (діаметром) 1200 мм, висотою 2000 мм. Для перемішування розчину в бак подається стисле повітря.

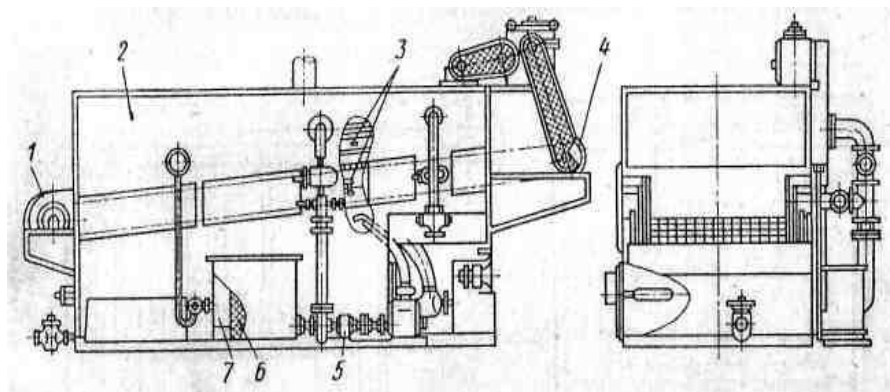


Рисунок 5.10 – Конвеєрна мийна машина типу ММК

Мийна машина типу ММК має водонепроникний кожух 2, всередині якого рухається конвеєр 1 з штампованих ланок з отворами для стоку розчину. Збірний бак поміщається в нижній частині машини. Зовні машини встановлюють: бачок 7 з фільтром 6 і насос 5 з електродвигуном. Після промивання розчин фільтрується, а потім подається насосом до бризкальних трубках 3. Підігрів розчину проводиться парою в змійовику або трубчастими нагрівачами. Витрата пари від 6 до 25 кг/год., температура розчину 80 °С.

Рух стрічці конвеєра мийної машини повідомляється від електродвигуна через редуктор, механізм хропіння і ведучий вал 4 з провідними зірочками. Продуктивність мийних машин ММК від 160 до 640 кг/год. При установці мийних машин в гартівно-відпускних агрегатах деталі після промивки падають на конвеєр відпускної печі, а в інших випадках - в підставлену тару.

#### 5.4 Проектування термічного відділення

Контролю на твердість піддаємо деталі після нормалізації, гартування та відпуску за допомогою твердомірів ТШ-2 і ТК-2. На ділянці є по одній одиниці приладів ТШ-2 і ТК-2. Контроль мікроструктури після ХТО здійснюємо в ЦЗЛ підприємства.

Для завантаження і транспортування деталей ділянка обладнана електротельфером з вантажопідйомністю 3 тонни.

### **5.5. Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці**

В даний час близько 80% установок для термообробки розташовуються в окремих, ізольованих від інших видів виробництва приміщеннях. Завдяки цьому забезпечується:

- 1) просте і надійне дотримання всіх конструктивних вимог і правил охорони праці;
- 2) можливість легко здійснити єдине управління і обслуговування технологічних процесів, відмінних від механічної обробки;
- 3) гнучка організація виробництва, при якій без зусиль можуть бути проведені зміни в процесі виробництва як стосовно заготовок, так і до видів обробки;
- 4) високопродуктивне використання устаткування шляхом сумісного завантаження деталей з великим періодом обробки, а також шляхом кооперації робіт для інших виробництв.

Початкову інформацію для складання планування виробничої ділянки і розробки операцій переміщення виробів підрозділяють на базову, керівну і довідкову.

У базову інформацію включають дані що містяться в конструкторській документації на виріб (специфікації конструкторських документів, креслення деталі, технічні умови) і планові завдання.

Робочі креслення і технічні умови є основними документами. По кресленню визначається вид термічної обробки, зона обробки, твердість, остаточні розміри, параметри окремих елементів деталі, її маса і так далі. У технічних умовах сформульовані вимоги до деталі, не позначені на кресленні.

Планові завдання (виробнича програма) дозволяють визначити при проектуванні процесу тип виробництва (масове, серійне, одиничне), глибину



опрацювання технологічного процесу, вид устаткування (універсальне, спеціалізоване).

Керівна інформація містить дані, наявні в стандартах всіх рівнів на технологічні процеси і методи управління ними, устаткування і оснащення; у перспективних технологічних процесах; виробничих інструкціях. Вона включає класифікатори заготовок, деталей, технологічних процесів термічної обробки, технологічного устаткування і оснащення, розрядів робіт і професій, а також стандарти на марки матеріалів на технологічне устаткування, оснащення.

Довідкова інформація включає дані типових технологічних процесів термічної обробки деталей і заготовок, прогресивних методів обробки, що містяться в каталогах, довідниках технологічного устаткування і оснащення, матеріалах по вибору технологічних параметрів (температури і швидкості нагріву, часу витримки, складу газової атмосфери, розплаву солей, технологічних властивостей середовищ, що охолоджують, і тому подібне). До довідкової літератури відносяться методики техніко-економічної оцінки вибору процесів термічної обробки, розрахунку економічної ефективності і типові компоновки устаткування ділянок, цехів і потокових ліній термічної обробки.

Розстановка печей один з одним проводиться так, щоб, з одного боку, забезпечити мінімальний шлях для транспортування заготовок, а, з іншого боку, зберегти необхідні з погляду функціонування установок і дотримання правил охорони праці мінімальні проміжки між устаткуванням. Таким чином, забезпечується послідовне з'єднання основного і допоміжного устаткування – по етапах виконання термічних операцій.

Для вихідного і вхідного контролю в термічному цеху передбачаються окремі приміщення, в яких розташовані необхідні прилади. Є також кімната майстра даної термічної ділянки. Для забезпечення охорони праці і культури виробництва передбачаються також побутові приміщення. До них відносяться роздягальні для зберігання спецодягу і чистого плаття, які розділяються душовими, а також кімната відпочинку персоналу.

Орієнтовно загальна площа цеху встановлюється за нормативами площі на одиницю обладнання, допоміжна площа становить 25...30 % від виробничої.

Окрім площі, яка необхідна для встановлення розрахункової кількості обраного обладнання, загальна площа цеху повинна включати також площі, відведені під проходи та проїзди, під кабінет начальника цеху (~15м<sup>2</sup>), приміщення для майстра та технолога (~15 м<sup>2</sup>), майстерню механіка та електрика (~20 м<sup>2</sup>), службу ВТК (~20 м<sup>2</sup>), кімнату відпочинку (~25 м<sup>2</sup>), приміщення для гардеробу, душових та санвузлів (~50 м<sup>2</sup>), комору запчастин та технологічних матеріалів (~25 м<sup>2</sup>). Розмір вказаних приміщень орієнтовно визначений в залежності від річної програми термічної обробки та чисельності працюючих.

Ділянка для термічної і хіміко-термічної обробки розроблена згідно нормативів, прийнятих при проектуванні термічних цехів і дільниць.

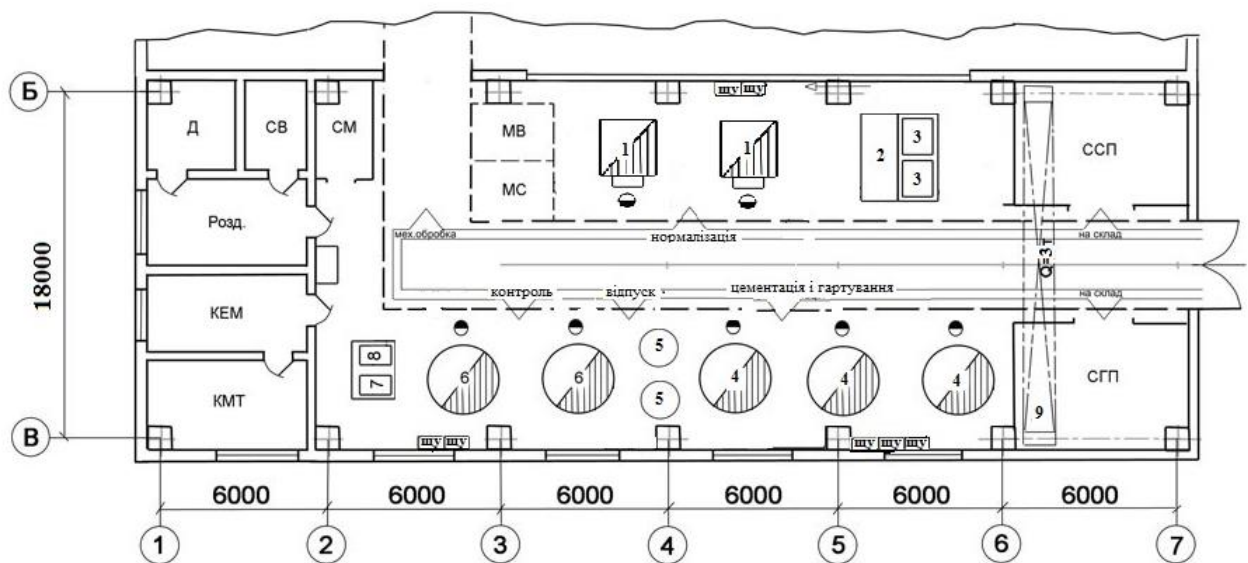


Рисунок 5.11 - Планування ділянки ТО і ХТО деталі «бандаж»: 1 - піч для нормалізації СНЗ - 8.16.5/10; 2 - місце складування; 3 - піч для цементациі і гартування СШЦМ - 6.12/9; 4 - гартівний бак з маслом; 5 - мийна машина; 6 - піч для відпуску СШО - 6.12/7; 7 - твердомір ТШ-2; 8 - твердомір ТК-2, 9 – електротельфер

При проектуванні були враховані всі розрахункові дані щодо кількості основного та допоміжного обладнання, прийняті до уваги вантажопотоки деталей при виготовленні (механічній обробці), термічної і хіміко-термічній обробці.

У плануванні ділянки передбачені місця для складування заготовок і готової продукції, а також виділені приміщення (побутові) для відпочинку робітників і розташування ІТП, обслуговуючих спроектовану ділянку.

## **Висновки**

В п'ятому розділі було обрано технологію термічного зміцнення деталі, яка складається з наступних операцій:

- нормалізація;
- механічна обробка;
- нітроцементация;
- гартування з нітроцементацийного нагріву;
- низький відпуск.

Зважаючи на марку сталі, для підготовки її структури до механічної обробки було обрано нормалізацію. Дана технологічна операція займає менший період часу на витримання деталі в печі, порівняно із класичним відпалом.

В якості зміцнюючої обробки було обрано та замінено процес цементаций в газовому середовищі на нітроцементацию. Нітроцементация має меншу температуру дифузійного насичення та часу витримки деталі в печі, що позитивно впливає на стан структури деталі по всьому перерізу. Крім того в економічних цілях рекомендовано проводити гартування з цементацийного нагріву, шляхом відключення подачі триетаноламіну, певною витримкою деталей для врівноваження температури та їх наступного охолодження в маслі.

Для зняття гартувальних напружень, для деталей проводять низькотемпературний відпуск.

Також було обрано основне обладнання для проведення термічної обробки

та розрахована його необхідна кількість. Для проведення нормалізації було обрано камерну електричну піч з видвижним подом, для нітроцементації та гартування – шахтну електричну цементаційну піч, а для відпуску – шахтну електричну відпускну піч. Обране обладнання було розміщено на плані термічного відділення та розраховано його розміри.

## ВИСНОВКИ

В процесі роботи над випускною кваліфікаційною роботою отримані наступні результати.

1. Проведений аналіз умов роботи деталі і визначені вимоги до матеріалу виробу. Встановлено, що під час роботи деталі сприймають складну деформацію: вигин, крутіння, розтяг-стиск. У процесі їх роботи можливі поломки внаслідок дії статичних і втомних навантажень, а також деформації неприпустимих значень. Деталь бандаж піддається сильному зношуванню, а також контактним напруженням.

2. Проведено аналіз матеріалів для виготовлення деталей зубчатих передач і обрана економнолегована сталь 25ХГТ замість нікельвмісної сталі 12Х2Н4А.

За ціною сталь 25ХГТ значно дешевше, ніж нікелевмісна 12Х2Н4А, а також для спадково дрібнозернистої сталі 25ХГТ більш простий і менш енергоємний процес хіміко-термічної і термічної обробки. Для сталі 25ХГТ також можлива більш висока температура цементації, що скорочує час проведення процесу, сталь не схильна до перегріву і росту зерна, тому гартування після цементації можливе з нагріву під хіміко-термічну обробку, а також немає необхідності проводити обробку холодом для усунення залишкового аустеніту після гартування.

3. Проведений аналіз впливу легуючих елементів обраної сталі на властивості сталі. Легуючими елементами сталі 25ХГТ є хром, марганець і титан. Показано що хром і марганець забезпечують прогартуваність сталі, що особливо актуально для великогабаритної деталі. Для зменшення схильності до зростання зерна вводять титан.

4. Призначений режим термічної і хіміко-термічної обробки менш енерговитратний і коротший за часом у порівнянні з базовим (заводським) варіантом, забезпечує виконання всіх вимог до технологічних і механічних властивостей матеріалу деталі. Обрано технологію термічного зміцнення деталі зі сталі 25ХГТ, основні етапи якої: попередня ТО – нормалізація; остаточна –

цементация з наступним гартуванням з цементацийного нагріву та низький відпуск.

5. Запропоновано обладнання (основне, допоміжне, контролю) для забезпечення виконання технологічного процесу термічної і хіміко-термічної обробки деталі «бандаж зубчатого колеса». Для проведення нормалізації обрано камерну електричну піч з видвижним подом, для цементації та гартування – шахтну електричну цементацийну піч, а для відпуску – шахтну електричну відпускну піч. Обране обладнання розміщено на плані термічного відділення та розраховано його розміри.

6. Спланована умовна ділянка для проведення термічної і хіміко-термічної обробки.

## Список використаної та рекомендованої літератури

1. Паливода Ю.Є., Капаціла Ю.Б., Ткаченко І.Г. Технологія оброблення зубчастих коліс : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». Тернопіль : ТНТУ, 2016. 136 с.
2. Горбатюк С.М. Детали машин и основы конструирования : учеб. Москва : Изд. Дом МИСиС, 2014. 424 с.
3. Стрелец В.В. Деталі машин і основи конструювання : конспект лекцій для студ. спец. 6.050502 "Інженерна механіка", 6.050503 "Машинобудування", 6.050601 "Теплоенергетика", 6.050604 "Енергомашинобудування" денної та заочної форм навчання. Суми : СумДУ, 2012. 120 с.
4. Піпа Б.Ф. Прикладна механіка і основи конструювання : конспект лекцій. Київ : КНУТД, 2008. 83 с.
5. Демковський І.П. Методичні вказівки до виконання завдання з креслення до теми «Зубчасті зачеплення» для студентів машинобудівних спеціальностей. Харків : НТУ «ХП», 2008. 26 с.
6. Водейко В.Ф. Редукторы зубчатые: методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Детали машин и основы конструирования». Москва : МАДИ, 2014. 48 с.
7. Рубець А. Зубчасті передачі: монтаж та обслуговування Пропозиція. – 2014. – № 12. – URL : <http://propozitsiya.com/ua/zubchatye-peredachi-montazh-i-obsluzhivanie>. (дата звернення: 02.06.2020).
8. Манжілевський О.Д. Конспект лекцій Металорізальні верстати, промислові роботи та обладнання автоматизованих виробництв. 2015.
9. Бондаренко С.І., Карпенко В.О., Нестеренко О.А., Пірогова Л.В. Характер і причини руйнування шестерень дорожньо-будівельних і сільськогосподарських машин. Вестник ХНАДУ. - Вып. 54. - 2011.
10. Бельков В.Н. Детали машин и основы конструирования: учеб.пособие. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2010. 164 с.

11. Балтер М.А. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей. Москва : Машиностроение, 1987. 160 с.
12. Шабашов А.П., Хрисанов М.И., Кропачев Г.П. Москва : Электрические подъемные краны, 1964. 31с.
13. Материалы и режимы упрочняющей обработки, рекомендуемые для типовых деталей машин URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/505/29505/12718>(дата звернення: 02.06.2020).
14. Диаграмма состояния системы железо – хром (Fe-Cr) URL: <https://markmet.ru/diagrammy-splavov/diagramma-sostoyaniya-sistemy-zhelezo-%E2%80%93-khrom-fe-cr?destination=node%2F15186> (дата звернення: 02.06.2020).
15. ГОСТ 9012-59. Метод измерения твердости по Бринеллю.
16. Головня В.Д. Деталі машин : конспект лекцій. Житомир : ЖДТУ, 2016. 97 с
17. Електронне джерело - URL: <http://sum.in.ua/s/metaloghrafija> (дата звернення: 02.06.2020).
18. Технологія конструкційних матеріалів - URL : [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shilina\\_tehnologiya\\_konstrukc\\_materialiv/index.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shilina_tehnologiya_konstrukc_materialiv/index.htm) (дата звернення: 02.06.2020).
19. Мак-Мак Н.Є. Дисертація створення метастабільних станів та зміцнення конструкційних сталей способами термічної та хіміко-термічної обробки. Маріуполь, 2019. 235 с.
20. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. Суми :Сумський державний університет, 2012. 171 с.
21. Литовченко С.В. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры: методические материалы. Харьков : ХНУим. В. Н. Каразина, 2011. 14 с.
22. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов: учебное пособие для вузов. Москва : Металлургия, 1985. 256 с.
23. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов:учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1986. 480 с.



24. Глиняна Н.М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напрямку 0904 «Металургія». Краматорськ : ДДМА, 2009. 184 с.

Сумськ