

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра прикладного матеріалознавства і технології  
конструкційних матеріалів**

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

**зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»**

Тема роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки «вала-шестерня»

Виконав:  
студент Остапчук Дмитро Олегович

Керівник:  
Берладієв Христина Володимирівна

Залікова книжка  
№ 19510096

Підпис \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК

\_\_\_\_\_

Оцінка, дата

\_\_\_\_\_ Марченко К.С.

Прізвище, підпис

Суми 2022

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних  
матеріалів  
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Гарант Освітньої програми  
«Прикладне матеріалознавство»  
Харченко Н. А.  
«17» червня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Остапчуку Дмитру Олеговичу, група МТ-81  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки «вала-шестерня»
2. Вихідні дані: Креслення деталі «вал-шестерня» та вимоги до неї вказані на кресленні (додаток А)
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу
  - 1) Креслення деталі.
  - 2) Графік термічної обробки деталі
  - 3) План розробленого термічного відділення.
4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1. Аналіз умов роботи деталі	X			
2	Розділ 2. Огляд літератури	X			
3	Розділ 3. Вибір матеріалу та роль легувальних елементів у забезпеченні експлуатаційних властивостей		X		
4	Розділ 4. Маршрутна технологія виготовлення деталі. Характеристика етапів технологічного процесу			X	
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 26 квітня 2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

ст. викладач, Берладір Х. В.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра вміщує 56 сторінок, 3 таблиці, 5 рисунків, список із 35 використаних джерел на 3 сторінках, 3 додатків на 3 сторінках.

**Мета роботи** – розроблення маршрутної технології виготовлення, вибір матеріалу та термічної/хіміко-термічної обробки для деталі «вал-шестерня».

**Методи досліджень** – стандартні методи дослідження, серед них можна виділити макро- та мікроаналіз, вимірювання твердості за методами Брінелля та Роквелла.

### **Завдання роботи:**

- охарактеризувати умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів і зробити огляд літературних джерел по тематиці роботи;
- розробити маршрутну технологію виготовлення вала-шестерні;
- призначити термічну та хіміко-термічну обробку для деталі;
- розрахувати необхідну кількість основного та допоміжного обладнання та здійснити планування термічної ділянки.

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз умов роботи деталі вала-шестерня та сталей, що застосовуються для його виготовлення. На основі проведеного аналізу обрано леговану сталь 18ХГТ і описано вплив основних легуючих елементів та домішок на властивості даної сталі. Розроблено технологію виготовлення деталі «вал-шестерня», призначено попередню та остаточну термічну обробку, а також режим хіміко-термічної обробки. Також розрахована необхідна кількість основного та допоміжного обладнання, необхідного для проведення термічної та хіміко-термічної обробки деталі; здійснено планування термічної ділянки.

**Ключові слова:** вал-шестерня, сталь 18ХГТ, гартування, цементация, відпуск, властивості, мікроструктура.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	3
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	6
ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ .....	6
1.1. Умови роботи вал-шестерня .....	6
1.2. Причини виходу з ладу деталі вал-шестерня .....	7
Висновки .....	11
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	12
2.1. Технології виготовлення та методи зміцнення деталі вал-шестерня ...	12
2.2. Перспективні технології поліпшення властивостей поверхневих шарів валу-шестерні .....	19
Висновки .....	23
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ .....	24
3.1. Вибір матеріалу деталі «вал-шестерня» .....	24
3.2. Методи дослідження .....	29
3.2.1 Макро- мікро аналізи .....	29
3.2.2 Визначення твердості та мікротвердості .....	30
Висновки .....	30
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....	32
4.1. Отримання заготовки вала-шестерні .....	32
4.2. Процес оброблення вала-шестерні .....	33
Висновки .....	36
РОЗДІЛ 5 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ .....	37
5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі. ....	37
5.2. Вибір обладнання для проведення операцій термічної обробки .....	41
5.3. Розрахунок обладнання .....	43

5.4. Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується.....	45
5.5. Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці.....	48
Висновки .....	50
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
ДОДАТОК А .....	57
ДОДАТОК Б .....	58
ДОДАТОК В .....	59

СММД

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

#### 1.1. Умови роботи деталі «вал-шестерня»

Вал-шестерня 1, встановлена в двох підшипниках 8 і 9, всередині корпусу редуктора 2, закритого кришкою 3, в якій розміщено ущільнення 4 прилягає до шийки вала 5. Ще на вал-шестірні знаходяться шестерня 6, що опинилася в зачепленні з колесом 7 і вал під номером 5. Вал-шестерня 1 в Редуктор здійснює передачу крутного моменту. Надання крутного моменту виконується за допомогою пасової передачі на інший вал через шпонки та розподільника на 2 зубчасті передачі (на колеса 13 та вал 6) [1].

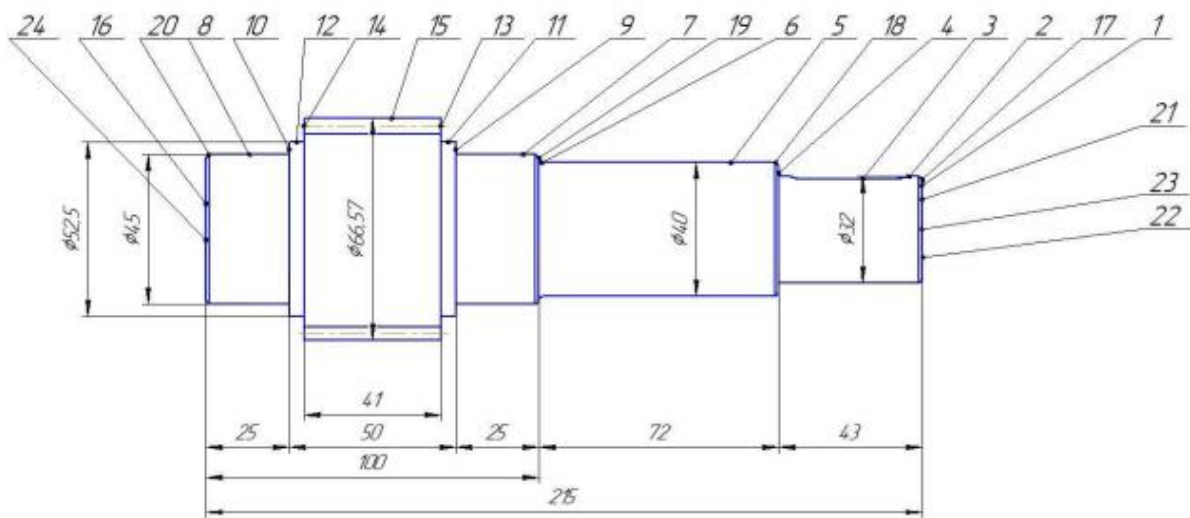


Рисунок 1.1 – Ескіз заданої деталі.

Вали-шестірні, що передають крутний момент з одного валу на інший, вважаються одним з вузлів механізму, що найбільш швидко зношуються, незважаючи на те, що спочатку виробляється набагато більш міцною і зносостійкою, ніж звичайні шестірні. Тим не менш, величезні всебічні навантаження, що зазнають вал-шестірні в робочому процесі, дуже швидко

приводять її в абсолютно непридатний до роботи стан. Таким чином, необхідність заміни даного вузла механізму вимагає уважного спостереження та своєчасної реакції, щоб уникнути втрат робочого часу [1].

Як неважко здогадатися: з точки зору якості, вал-шестірня має перевагу перед насадною шестірнею в сукупності з валом. Така конструкція є більш надійною, жорсткою та точною. Сьогодні редуктори виготовляються частіше на основі валів-шестерень, проте виникає необхідність застосування і насадних шестерень, коли шестерня повинна рухатися вздовж осі валу в процесі роботи.

Також використання роз'ємних конструкцій дозволяє виконати шестірню та вал з різних матеріалів. У деяких випадках роздільне з'єднання віддають перевагу з точки зору практичності, оскільки при заміні зламаних деталей обидві складові міняти не доводиться.

При високих передавальних коефіцієнтах зубці нарізають прямо на поверхні валу. Але таке виготовлення валів-шестерень відноситься до складніших виробничих завдань, оскільки утруднений процес фрезерування та шліфування зубів [2].

## **1.2. Причини виходу з ладу деталі вал-шестерня**

Вихід з робочого стану у більшості випадків носить стомливий образ і відбуваються у зоні концентраторів навантажень за винятком змінних сил і моментів, що діють на вал, доведеться у свою чергу мати на увазі сили тертя, що виникають у підшипниках ковзання. У підшипниках ковзання при нормальній роботі є рідке або консистентне масло яке надійно зберігає поверхні тертя від формування металевих контактів. При певних співвідношеннях навантаження, в'язкості мастила і швидкості поверхонь безпосереднього контакту, що труться, проміж поверхнями не виникає і знос

деталей незначний. Середовище, в якому працює, має великий вплив на знос поверхонь деталей. Вал-шестерня, працює в неагресивних середовищах. Неодноразове додавання знакових навантажень на вал з недостатнім запасом міцності або при наявності концентраторів напружень може призвести до його руйнування втому. Бувають випадки поломок валів, які зазвичай викликані пошкодженням зубів. Найпоширенішими видами пошкоджень зубів є втомні контактні переломи робочих поверхонь і складні переломи [3].

Задирання або зношування зустрічаються набагато рідше. Злам і пластична деформація зачеплення внаслідок статичних навантажень зустрічаються вкрай рідко і можуть виникати в результаті короточасних пікових перевантажень, напр. В. у разі раптового зупинки системи або проникнення сторонніх тіл. Контактні пошкодження можуть бути поверхневими або глибокими.

Обидва типи руйнувань є тривалими явищами, при яких на поверхні матеріалу або на глибині під дією знакоподібного напруження утворюються тріщини. Виникнення того чи іншого виду руйнування залежить від співвідношення між прикладеною напругою та опором самого втомного матеріалу по ділянці зуба.

Глибоке руйнування характерне для матеріалів з хімічно-термічним зміцненням поверхневого шару, але в деяких випадках може виникнути і в термічно покращених сталях. Однією з типових причин втрати працездатності зубчастих передач є пошкодження зубів внаслідок заклинювання. Пошкодження від защемлення виникають на послідовних стадіях розвитку: від легкого натирання - поява плоских, коротких подряпин, нечітких неозброєним оком і орієнтованих у напрямку відносного ковзання профілів - до дуже важкої форми стирання з характерними широкими і глибокими подряпинами. пази з металу.



Сколювання в основному починається біля лінії полюса на хвостовиках зубів, де навантаження передається від пари зубів, а ковзання та кочення зубів спрямовуються таким чином, щоб масло потрапляло в щілини і допомагало забарвити металеві частинки. Це пояснюється тим, що сили тертя в циркумпольній зоні збільшуються, а контактна міцність зменшується. В процесі експлуатації порушуються умови утворення суцільної масляної плівки, відбувається контакт металу з подальшим швидким зношуванням або поверхневими задирками [4]

Утворення перших стомлюючих оболонок не завжди є ознакою майже повного руйнування зубів. При високій твердості зубів утворені раковини швидко розростаються за рахунок крихкого руйнування їх країв.

Абразивний знос є основною причиною виходу з ладу шестерні через погане змащення. До таких передач належать передачі, які не захищені належним чином від забруднення абразивними частинками (пил, продукти зношування тощо). При зношеній шестерні збільшуються зазори зачеплення, з'являється шум, зростають динамічні навантаження. При цьому міцність зношеного зуба зменшується за рахунок зменшення його поперечного перерізу. У поверхнево-затверділих матеріалах утворення глибокої тріщини в перпендикулярі поверхня-поверхня гальмується опором шару, який має більшу твердість, тому тріщина поширюється в серцевині паралельно шару, що означає тріщини без опори. В результаті при затвердінні великі шматки матеріалу, що виключають передачу, повністю відокремлюються. У зв'язку з цим глибоке руйнування може бути небезпечнішим за перелом зуба.

Як і при поверхневому руйнуванні, спостерігаються глибокі розломи, які демонструють пластичну деформацію матеріалу, впливаючи на перехідну зону та прилеглі ділянки ядра.

Потім через зростання напружень у непошкодженій частині перерізу зуба тріщина зазвичай повертає і виходить на неробочу сторону зуба. Коли

крім напруг вигину в корені зубів у масивному обід колеса виникають значні напруження іншого походження, тріщина, що йде від кореня зуба, може не вийти на протилежний профіль, а розвивається вглиб, в результаті чого виламується шматок обода у формі сегмента з декількома зубами.

Великі контактні тиски при високих периферійних швидкостях призводять до збільшення теплоутворення і, як наслідок, високих температур у локальних точках контакту зубів. Це може призвести до витончення та втрати несучої здатності масляної плівки, що призведе до схоплювання та схоплювання контактних поверхонь зубів [5].

Знос робочих поверхонь зубів тим більше, чим більше їх питоме ковзання і контактні напруження в сітці. Оскільки найбільше питоме ковзання відбувається в початкових і кінцевих точках контакту зубів, найбільший знос відбувається на ніжках і гребнях зубів.

Недостатня товщина масляної плівки сприяє підвищеному зносу. Зменшення товщини плівки та її розрив можливі під час перевантажень та в періоди пуску та зупинки трансмісії. Забруднення масла абразивними частинками значно збільшує знос. Зі зношуванням спотворюється профіль зубів, послаблюється їх основа, збільшується динамічне навантаження, збільшується напруга в області перехідної поверхні зуба.

Відколювання твердого поверхневого шару зубів спостерігається при недостатньо високій якості термічної обробки, при поверхневому зміцненні, коли внутрішні напруги не знімаються відпуском або коли крихка зубна кірка не має достатньої міцності. знизу міцне ядро. Розшарування сприяє перевантаженню [4-6].

## Висновки

Виходячи з вимог до валу-шестерні, існують конструкційно леговані зміцнюючі сталі, які ідеально підходять для виготовлення компонента.

Основним критерієм вибору сталі повинні бути механічні властивості сердечника в залежності від розміру поперечного перерізу і відпалу. Гартовані сталі характеризуються досить високим чesом, що дає можливість забезпечити необхідну жорсткість поверхневого шару і серцевини при загартуванні в маслі, оброблюваність до насичення, що визначається низькою тенденцією до надмірного насичення поверхні вуглецем.

За умовами експлуатації валу-шестерні він повинен мати високу міцність і зносостійкість поверхневого шару, високу міцність на вигин і контактні навантаження з пластичним сердечником. Також вал-шестерня працює під впливом вібрації та високої температури, а тому цей продукт вимагає хорошої міцності при підвищених температурах.

Середовище, в якому працює, має великий вплив на знос поверхонь деталей. Вал-шестерня, працює в неагресивних середовищах. Неодноразове додавання знакових навантажень на вал з недостатнім запасом міцності або при наявності концентраторів напружень може призвести до його руйнування втомою. Бувають випадки поломок валів, які зазвичай викликані пошкодженням зубів. Найпоширенішими видами пошкоджень зубів є втомні контактні переломи робочих поверхонь і складні переломи.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2.1. Технології виготовлення та методи зміцнення деталі вал-шестерня

Під конструкційною міцністю розуміють комплекс механічних характеристик матеріалу, що забезпечують надійну та тривалу роботу матеріалу в умовах експлуатації. Це комплексна характеристика матеріалу: критерії міцності, надійності та довговічності, які залежать від конкретних умов навантаження та експлуатації деталей.

Межі витривалості є основними характеристиками конструкційної міцності валів-шестерень [7]. Втомленням називається руйнування матеріалу в умовах циклів напруг, що багато разів повторюються. Властивість матеріалу чинити опір втомному руйнуванню називається витривалістю.

Відмінною особливістю втомного руйнування є те, що руйнування починається на поверхні або поблизу поверхні деталі. Тому структурний стан поверхні, її чистота, наявність зовнішніх та внутрішніх концентраторів напруг (Кет), характер напруженого стану мають визначальний вплив на межу витривалості.

Надійність характеризується ймовірністю безвідмовної роботи матеріалу за його експлуатації. Експлуатаційні відмови діляться на поступові та раптові. Поступові відмови викликаються надмірним зносом та втомним руйнуванням. Шлях боротьби з поступовим відмовою - правильний інженерний розрахунок, який передбачає створення запасу міцності.

Раптові відмови – наслідок тендітного руйнування матеріалу, тому конструкційні матеріали повинні мати достатню в'язкість (КСУ) і пластичність (д, ш). Необхідно також враховувати так звану тріщиностійкість. Тріщиностійкість – це група параметрів, що характеризує

здатність матеріалу гальмувати розвиток тріщини. Найчастіше їх використовується критерій Ірвіна ( $K_I$ ), який визначає напругу всередині вершини тріщини.

Важливою характеристикою надійності є поріг холодноламкості (T50). При зниженні температури таких сплавів ударна в'язкість різко зменшується у зв'язку з переходом від в'язкого до крихкого стану. T50 - це температура, коли він робота з поширенню тріщини зменшується наполовину.

Довговічність – це здатність матеріалу протягом заданого часу зберігати працездатність. Критерії працездатності залежить від умов експлуатації.

Довговічність матеріалу в умовах тертя визначається зносостійкістю – опором зношування. Знос результат роботи сил тертя. Його величина визначається за величиною коефіцієнта тертя [8].

Для його зменшення необхідно звести до мінімуму пластичну деформацію і забезпечити сумісність пар, що труться, тобто виключити схоплювання і утворення задир.

Для підвищення втомної міцності та зносостійкості необхідно підвищити твердість поверхні, що досягається поверхневим зміцненням, хімічною термічною обробкою та пластичною деформацією для створення стискаючих залишкових напружень на поверхні деталей.

Товщина дифузного шару має дуже значний вплив на міцність (в основному на довговічність згинання та довговічність контакту).

Твердість серцевини, яка в основному залежить від концентрації вуглецю в сталі, має дуже великий вплив на міцність загартованої сталі. Хоча міцнісні властивості поверхнево-загартованих сталей зростають із збільшенням вмісту вуглецю та твердості серцевини, це збільшення не може бути необмеженим, оскільки, якщо вміст вуглецю в серцевині занадто високий, порушується бажаний хід мартенситного перетворення в серцевині

та шарі. . При високій концентрації вуглецю ( $> 0,35\%$ ) в серцевині мартенситна точка зменшується, що дає можливість мартенситного перетворення спочатку в шар, а потім в серцевину під час затвердіння, що призводить до зменшення залишкових напружень стиску на поверхні і, як наслідок, зниження втоми. форти.

Крім того, у міру збільшення концентрації вуглецю в серцевині міцність сталі зменшується. У зв'язку з цим, за результатами експериментальних досліджень у сталях з поверхневим зміцненням, рекомендується, щоб вміст вуглецю не перевищував  $0,30\%$ , а оптимальні значення. Жорсткості серцевини після хіміко-термічної обробки повинні бути в межах HRC 24 -32.

На міцнісні властивості загартованих сталей сильний (часто вирішальний) впливає концентрація вуглецю на поверхні. Оптимальний вміст вуглецю, при якому надається максимальна крихка міцність, становить  $0,6-0,8\%$ , міцність на вигин досягає максимальних значень при  $0,8-1,05\%$  на поверхні, а максимальні значення контактної міцності з можна отримати вміст вуглецю не більше  $1,0-1,25\%$ .

Надійність і довговічність виробів з таких сталей в процесі експлуатації залежить також від структур шару і серцевини, які утворюються в результаті повного циклу хіміко-термічної обробки.

У поєднанні з необхідністю забезпечення жорсткості поверхні HRC 59-63, шарувата структура повинна складатися в основному з тонкого голчастого мартенситу з невеликими ізольованими ділянками залишкового аустеніту. Абсолютно неприпустимо осадження карбідів у вигляді сітки за межами зерен, оскільки це значно підвищує крихкість. Випадання значної кількості ізольованих карбідів, помітне при збільшенні  $X_{I00}$ , також небажано, оскільки в такому вигляді вони знижують ударну в'язкість

загартованої сталі, особливо в кутах і на торцях деталей. Вміст затриманого аустеніту в шарі не повинен перевищувати 5% [9].

Тому для отримання високих характеристик міцності виробів - трансмісійних валів необхідно забезпечити регулювання у вузьких межах ряду параметрів, що характеризують структуру та властивості шару та серцевини. У той же час при високих значеннях міцності на розрив, міцності на вигин і контактної міцності сталі повинна бути забезпечена задовільна міцність. Звідси вони стали успадковуватися дрібнозернистими (м'яч 6-8). Крім того, використання дрібнозернистих сталей повинно уможливити використання найбільш ефективного виду термічної обробки. Сталі також повинні легко різатися, тому попередня термообробка повинна забезпечувати оптимальну структуру. При незадовільній мікроструктурі заготовок погіршується якість робочої поверхні, а внутрішні напруження, що виникають у процесі різання, сприяють посиленню деформації виробів при подальшій хіміко-термічній обробці. Тому зубчаста передача повинна мати високу жорсткість і зносостійкість поверхневого шару, збільшений термін служби контакту, а також в'язкий м'який сердечник, щоб відчувати (гасити) значні навантаження, прикладені до деталей. Під час роботи зуби відчують ударні навантаження, в результаті чого виникають контактні напруги.

Поверхня зуба зношується, під час роботи зуби нагріваються; До них безперервно подається масло для охолодження. За своєю конструкцією це колесо є порожнистим циліндром. Зовні є евольвентні шестерні, через які передається обертальний рух ведучої шестерні. По внутрішньому діаметру цієї шестерні встановлені шпонки для передачі крутного моменту при запуску на пружини коробки передач і далі на ротор двигуна, що забезпечує подачу палива в камеру згоряння. Під час роботи передача відчуває статичні, динамічні, знакові та вібраційні навантаження до 930 Н. Деталь працює в масляному середовищі з робочою температурою до 80 °С [10].



### 2.1.1. Цементация

Цементациєю називається процес насичення поверхневого шару сталі вуглецем. Розрізняють два основні види цементації: твердими вуглецевими сумішами (карбюризаторами) і газовою. Метою цементації є отримання твердої та зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглецем до концентрації  $0,8 \div 1,2$  % та подальшим гартуванням з низьким відпуском. Цементация та подальша термічна обробка одночасно підвищують і межу витривалості.

Для цементації зазвичай використовують низьковуглецеві сталі  $0,1 \div 0,18$  % вуглецю. Для великогабаритних деталей застосовують сталі з вищим вмістом вуглецю ( $0,2 \div 0,3\%$ ). Вибір таких сталей необхідний для того, щоб серцевина виробу, що не насичується вуглецем під час цементації, зберігала високу в'язкість після гартування [11].

Для цементації деталі надходять після механічної обробки нерідко з припуском шліфування  $0,05 \div 0,10$  мм. У багатьох випадках цементації піддається лише частина деталі, тоді ділянки, що не підлягають зміцненню, захищають тонким шаром міді ( $0,02 \div 0,04$  мм), яку наносять електролітичним способом або ізолюють спеціальними обмазками, що складаються із суміші вогнетривкої глини, піску та азбесту, замішаних на рідкому склі, та ін.

Цементацию проводять при температурах  $920-950^{\circ}\text{C}$ , коли стійкий аустеніт, який розчиняє у великих кількостях вуглець. При цементації сталі атоми вуглецю дифундують у ґратку  $\gamma$ -заліза. Після досягнення межі насичення аустеніту вуглецем, що визначається лінією SE на діаграмі Fe-Fe<sub>3</sub>C, на поверхні може утворитися суцільний шар цементиту [12].

### 2.1.2. Особливості газової цементації для низьковуглецевих сталей



Для цементації деталі поставляються після механічної обробки, часто з припуском на шліфування  $0,05 \div 0,10$  мм. У багатьох випадках лише частина деталі піддається науглецюванню; потім ділянки, які не підлягають зміцненню, захищають тонким шаром міді ( $0,02 \div 0,04$  мм), нанесеним електролітично, або ізолюють спеціальними покриттями, що складаються із суміші вогнетривкої глини, змішують пісок та азбест із рідким склом тощо.

Цементування як процес хіміко-термічної обробки в основному використовується на низьковуглецевих сталях Ст2, СтС, 08, 10, 15, 20, 15Х, 20Х, 20ХНМ, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 15ХГНХ, але для обробки кульок. сталь ШХ15, 7Х3 і корозійно-стійкі сталі 10Х13, 20Х13 і т. д. Сталі, рекомендовані для цементації, повинні мати добру прожарюваність, зносостійкість і твердість. Відпал серцевини необхідно контролювати в дуже вузькому діапазоні твердості 30-43 НRC. У зв'язку з тривалістю процесу цементації та високою температурою процесу для цього виду хіміко-термічної обробки рекомендується використовувати спадкову дрібнозернисту сталь, розмір зерна якої не повинен перевищувати 6–8 балів. Інакше при цементації буде відзначатися значне збільшення зернистості серцевини виробу, що призведе до погіршення його експлуатаційних властивостей.

Науглецювання проводять у твердому вуглецевому, рідкому або газоподібному середовищах, так званих карбюризаторах, основні склади яких наведені в таблиці 1 і в таблицях 2 і 3 наведені рекомендації щодо термічної обробки цементованих виробів [14].

При твердофазній цементації процес здійснюється наступним чином. Деталі, що цементуються, упаковують в контейнери таким чином, щоб їх об'єм займав від 15 до 30% об'єму цементуючої коробки залежно від складності конструкції деталі. Ящики завантажують у піч, нагріту до

температури 600-700°C і нагріву до температури цементації 930-950°C. Після завершення процесу цементації контейнери виймаються з печі – деталі охолоджуються в контейнерах. До недоліків цементації в твердих карбюраторах можна віднести: неконтрольованість ступеню насичення і затвердіння відразу після цементації, додаткові непродуктивні витрати енергії на нагрів карбюраторів і т. д. Цей метод широко використовується в дрібносерійному виробництві в цехах і районах великих підприємств [15]. Цементация при циклічних змінах температури в інтервалах  $A_{C1}$  і  $A_{C3}$  призводить до впливу на дифузію вуглецю як поліморфного ( $\gamma \leftrightarrow \alpha$ ) перетворення, так і перлітного перетворення при роботі в діапазоні температур розпаду аустеніту ( $\sim 650$  °C ). Одночасно з інтенсифікацією дифузійного насичення такі режими призводять до інтенсифікації карбідоутворення в хромомарганцевих сталях [16].

Таким чином, зміна температурно-часових умов насичення може значно прискорити дифузію вуглецю в сталі та прискорити процес цементації.

Обробка сталі в газоподібній атмосфері за неізотермічними режимами дає змогу не тільки збільшити глибину цементації (в результаті інтенсифікації дифузійних процесів), але й збільшити вміст вуглецю в дифузійних шарах до заевтектійних концентрацій. У сталях, легованих карбідоутворюючими елементами (в т.ч. 18ХГТ), цементация температурного циклу сприяє утворенню структури з надлишком карбідів у вигляді дрібних округлих включень, рівномірно розподілених у металевій матриці. Матеріали з такою структурою характеризуються підвищеною зносостійкістю.

Звідси можна зробити висновок, що цементация сталей у газоподібній атмосфері з термічним циклом дозволяє отримати товщі покриття з підвищеним вмістом вуглецю в порівнянні з навуглецюванням в ізотермічних умовах при тих же температурах і витримках. Температурні

інтервали для проведення цементації дозволяє проводити гартування безпосередньо з печі цементації без додаткового нагріву, що значно знижує витрати на обробку сталевих виробів. При циклічному науглероживанні сталей, легованих карбідоутворюючими елементами (наприклад, хромомарганцевих сталей 18ХГТ), в газовій атмосфері утворюється більша кількість твердосплавних включень, рівномірно розподілених у змішанокристалічній матриці, в їх дифузійних шарах.

## **2.2. Перспективні технології поліпшення властивостей поверхневих шарів валу-шестерні**

Для вибору потрібного режиму ХТО ми провели огляд патентів та зупинилися на деяких із них:

1. Спосіб формування багатшарового зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі /Золотухін А.В., Ломарін Т.В./UA 85341 С2, кл. С23 С14/06, 14/16, 14/48.

Винахід відноситься до металургії, зокрема до хіміко-термічної обробки сталевих виробів, що працюють в умовах абразивного зносу при терті-квзанні або терті-кочення, і може бути використане в машинобудуванні для зміцнення різного виду зубчастих зачеплень і т.п.

Мета винаходу – підвищення твердості поверхневої виробів.

Процес іонного азотування ведуть при температурі 550(3) та тиску реакційного газу азоту 0.5 Па. Через 60 хв. припиняють подачу реакційного газу, знімають змінну напругу і залишають у роботі плазмовий генератор з мідним катодом на час 10 хв., за цим проводять нанесення захисного покриття нітриду титану методом ПВД зі швидкістю 3мкм/год протягом 60хв. при негативній напрузі постійного струму - 150В на виробі, струм

електродугового випарника з титановим катодом 180А, тиску реактивного газу азоту  $2 \cdot 10^{-1}$  Па.

2. Спосіб формування зносостійкого покриття / Золотухін А.В., Мустьяца О.М., Посвятенко Е.К., Дмитрів Н.М., Золотухін А.А., Національний транспортний університет/UA 77613 С2, кл. С23 3 14/06, 14/48. Винахід відноситься до металургії, зокрема до хіміко-термічної обробки сталевих виробів, що працюють в умовах абразивного зносу при терті-ковзанні або терті-кочення, і може бути використане в машинобудуванні для зміцнення різного виду зубчастих зачеплень і т.п.

Мета винаходу - підвищення твердості поверхневої виробів.

Спосіб формування зносостійкого покриття на поверхні виробів з конструкційної сталі, який включає їх завантаження у вакуумну камеру, її вакуумування до тиску  $2 \cdot 10^{-2}$  Па, нагрівання виробів у вакуумі до температури 200-250 з перебігом 10-15 хв., потім проводять плазмову очищення та активацію поверхні виробів у суміші газів: водню, аргону, азоту, при одночасному накладенні на вироби напруги змінного струму 500-1500 В, потім ведуть іонно-плазмове азотування виробів. [9, 17]

3. Спосіб іонно-плазмового напилення електропровідних покриттів/ Золотухін А.В., Мустьяца О.М., Посвятенко Е.К., Дмитрів Н.М., Золотухін А.А., Національний транспортний університет. Ціль винаходу – підвищення поверхневої твердості виробів. Спосіб іонно-плазмового напилення електропровідних покриттів програмованої еластичності, який відрізняється тим, що на вироби подають електронну та іонну частинки газової плазми рознесеними у часі зі сталлю частотою, подаючи та змінюючи потенціал опорної напруги на вироби з позитивно на негативний, при цьому за час дії негативного потенціалу на вироби спрямовують іонну частину плазми, а за час дії - електронну частину, час дії позитивного потенціалу до дії негативного потенціалу встановлюють залежно від покриття.

4. Спосіб нанесення захисних покриттів/ Золотухін А.В., Мустяца О.М., Посвятенко Е.К., Дмитрів Н.М., Золотухін А.А., Національний транспортний університет. Спосіб отримання захисних та декоративних покриттів, який включає попередню обробку виробів, що покриваються, з наступним розміщенням їх у реакційній камері. Що ж до місця зміцнюючої обробки у технологічному процесі, вона повинна проводити перед фінішною обробкою заготівлі, т.к. проведення термічної обробки раніше ускладнить механічну обробку (приведе до швидкого зношування інструменту). Проводити термічну обробку після фінішною обробки недоцільно, т.к. термічна обробка може призвести до жолоблення деталі. Отже, найбільш доцільним є проведення термічної обробки між чистовою та фінішною обробкою [10].

Існує два види показників технологічності: якісні та кількісні. Якісна оцінка при порівнянні варіантів конструкцій у процесі виробу передусє кількісної та визначає доцільність витрат на визначення чисельних показників технологічності варіантів. Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу виражається показником, чисельне значення якого характеризує ступінь задоволення вимог до технологічності конструкції [18].

Надійність та довговічність при експлуатації виробів, виготовлених з таких сталей, залежать також від структури шару та серцевини, що утворюється внаслідок повного циклу хіміко-термічної обробки. У зв'язку з необхідністю забезпечення поверхневої твердості HRC 59-63 структура шару повинна складатися в основному з дрібногочастого мартенситу з невеликими ізольованими ділянками залишкового аустеніту. Абсолютно неприпустимі виділення карбідів у формі сітки за межами зерен, бо при цьому різко зростає крихкість. Небажані також виділення у значній кількості ізольованих карбідів, помітних при збільшенні  $XI_{00}$ , так як і в такій формі вони знижують в'язкість цементованої сталі, особливо в кутах та на торцях деталей. Зміст залишкового аустеніту в шарі має перевищувати 5% [3].

Іонно-плазмове азотування в добре адаптованому інженерному процесі дає мінімальне розсіювання поверхневих властивостей від частин до частини при відносно низькій енергоємності, що робить ІПА більш привабливим, ніж традиційне азотування пічного газу, нітроцементация та ціанування [15].

Іонно-плазмове азотування усуває деформацію заготовки, а структура азотованого шару залишається незмінною навіть при нагріванні деталі до 650 градусів, що разом з можливістю точного регулювання фізико-механічних властивостей дозволяє використовувати ІПА для вирішення різноманітних задач [20]. Крім того, азотування іонно-плазмовим методом відмінно підходить для обробки сталей різних марок, оскільки робоча температура процесу в азотно-вуглецевій суміші не перевищує 600 градусів, що виключає порушення внутрішньої структури і, навпаки, допомагає зменшити ймовірність втомних руйнувань і пошкоджень через високу крихкість нітриду. фази. У порівнянні з іншими методами зміцнення та підвищення міжкристалічної стабільності, ІПА характеризується значно меншим часом процесу та вдвічі більшим витратою робочого газу.

Таким чином, іонно-плазмове азотування потребує в 2-3 рази менше струму, а якість поверхні обробленого продукту дозволяє виключити кінцевий етап подрібнення. Крім того, можна перед подрібненням з. Б. провести зворотне нітрування [21].

## Висновки

Виходячи з вищесказаного, ми розуміємо, що деталь має просту форму. Деталь виготовляється із «штампованої» заготовки, що дозволяє раціонально використовувати деталь. Наступним етапом виготовлення деталі та поліпшення її властивостей є хімічна термічна обробка. Саме це за умов експлуатації деталі дозволяє виготовляти її за найбільш прийнятними властивостями.

Із запропонованих технологій, що відповідають сучасним вимогам, є термоциклічне іонно-плазмове азотування (ППА) та цементування продукту. Вони є ефективними методами підсилення хіміко-термічної обробки деталей із: легованих конструкційних сталей (шестерні, зубчасті зубчасті колеса, конічні та прямозуби, вали трансмісії, черв'яки екструдера, вали, прямозуби, прес-форми, муфти зі складною геометричною конфігурацією та ін. ).

На відміну від традиційних методів термічної обробки, в запропонованих технологіях використовуються газоподібні середовища, в яких відсутній аміак, виключено водневе покриття поверхні, а технологія дає можливість зміцнити необхідні частини деталей.

Виходячи з перерахованих вище перспективних методів термічної обробки та технологічних та економічних факторів, ми пропонуємо цементування як метод хіміко-термічного поліпшення деталі.

Отримані дані щодо зносостійкості загартованих шарів при абразивному зношуванні свідчать про перспективність методу поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів, що працюють при абразивному зношуванні.



## РОЗДІЛ 3

### ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

#### 3.1. Вибір матеріалу деталі «вал-шестерня»

Вибір матеріалу для виготовлення валів-редукторів необхідно виходити з умов експлуатації та технічних вимог. Тому трансмісійний вал повинен мати високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, збільшений термін служби контакту, а також в'язкий, м'який сердечник, щоб сприймати (відмінювати) знакові навантаження, що діють на нього.

При можливості і без втрати якості та експлуатаційних показників, дорогі сталі з вмістом нікелю замінюють на більш дешеві. Так як наш редуктор працює в нормальних умовах, то така заміна є доцільною. Економно леговані сталі 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ застосовують для заміни дорогих хромонікелевих сталей. Хром, марганець і молібден забезпечують високу прогартовуваність, титан і молібден знижують чутливість до перегріву, сприяють отриманню дрібного зерна. Ці сталі по прогартовуваності та ударній в'язкості поступаються хромонікелевим проте значно перевершують їх за межею текучості, яка досягає 1000 – 1300МПа. Їх застосовують для відповідальних деталей (наприклад для виготовлення зубчастих коліс і валів-шестірень, для коробок передач автомобілів) [17].

Для валів-редукторів, що підлягають цементуванню із загартуванням, застосовують леговані сталі марок 12ХНЗА, 18ХГТ, 20Х та ін.

Вали шестерень виготовляються з легованої сталі марок 40Х, 28Х2МЮА, 40ХФА, які піддаються азотуванню з гартуванням.

Виходячи з умов експлуатації та технічних вимог, основним варіантом виготовлення виробу є сталь 20, яку ми замінюємо на - 18ХГТ. Цей тип сталі відноситься до групи легованих конструкційних сталей, від яких, крім підвищеної міцності та зносостійкості, потрібні еластичні властивості



(наприклад, це такі деталі, як: цанги, розрізні кільця, пружинні шайби, фрикційні диски, колінчасті вали, полуосі, штирькові шестерні). деталі, піддані гартуванню та відпуску; ця сталь успішно замінює дорогі хромонікелеві сталі [26] (табл. 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1.

Хімічний склад сталі 18ХГТ в % [ОСТ 23.4.125-77]

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu
0,16- 0,18	0,17- 0,37	0,80– 1,10	≤ 0,035	≤ 0,035	1,00 - 1,30	≤ 0,30	0,03- 0,09	≤ 0,30

Таблиця 3.2.

Механічні властивості сталі 18ХГТ [ОСТ 23.4.125-77]

Стан поставки, режими термічної обробки	Діаметр, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	$\sigma_B$ (МПа)	$\delta_5$ (%)	$\psi$ %	KCU (кДж/м <sup>2</sup> )	НВ (HRC <sub>3</sub> ), не більше
Нормалізація 880-950 °С. 870 С, масло. Відпуск 200 °С, повітря або вода	Зразки	880	980	9	50	78	
Нормалізація 930-960 °С. Цементация 920-950 °С. Гартування 825-840 °С, масло. Відпуск 180-200 °С	50	360 800	640 1000	9			157-207 Сердцевина 285 Поверхня (57-63)
Цементация 920-950 °С, повітря. Гартування 820-860 °С, масло. Відпуск 180-200 °С повітря.	20	930	1180	10	50	78	Сердцевина 341 Поверхня (53-63)
	60	780	980	9	50	78	Сердцевина 240-300 Поверхня (57-63)

Хром є легуючим елементом, його часто використовують для легування. Його вміст у конструкційній сталі становить 0,7 - 1,1%. Додавання хрому, який утворює карбіди, надає сталі високу жорсткість і міцність.

Після цементації та загартування одержують тверду і зносостійку поверхню і збільшують міцність серцевини в порівнянні з вуглецевою сталлю. Ці сталі використовуються для виготовлення деталей, які працюють на високих швидкостях ковзання та середніх тисках (для шестерень, кулачкових зчеплень, поршневих пальців тощо).

Сталі з низьким вмістом вуглецю хрому піддаються цементації, а потім термічній обробці, тоді як середньо- та високовуглецеві сталі покращуються (загартуються та надтверджуються). Хромовані сталі мають хороші зміцнюючі властивості. Недоліком хромистих сталей є їх схильність до відпуску до крихкості другого роду.

Деякі деталі працюють в умовах поверхневого зносу під час динамічних навантажень. Такі деталі виготовляють із низьковуглецевих сталей, що містять 0,10–0,30 % С, а потім піддають цементуванню. У загартованій сталі титан використовується тільки для очищення зерна. На більш високих рівнях він зменшує глибину затверденого шару і затвердіння. При СТО необхідно враховувати, що бор сприяє росту зерна за рахунок збільшення твердості при нагріванні. Щоб зменшити чутливість сталі до перегріву, Ti або Zr додатково легують. Зазвичай вироби з високолегованих цементованих сталей цементуються на малу глибину.

Режим роботи теплової попередньої та остаточної термічної обробки компонентів (температура нагріву та структура в нагрітому стані, охолоджуюча середовище) [11, 28, 29].

Кожен хімічний елемент, що входить до складу сталі, впливає на її механічні властивості - покращує або погіршує.

Вуглець (C), який є важливим елементом і зазвичай міститься в сталі у вигляді хімічної сполуки Fe<sub>3</sub>C (карбід заліза), збільшує його вміст до 1,2%, збільшуючи твердість, міцність і еластичність сталі, а також знижуючи міцність і зварюваність. При цьому також погіршується оброблюваність і зварюваність.

Кремній (Si) вважається корисною домішкою і вводиться як активний розкислювач. Зазвичай він міститься в сталі в невеликих кількостях (до 0,4%) і помітно не впливає на її властивості. Але при вмісті кремнію більше 2% сталь стає крихкою і руйнується під час кування.

Марганець (Mn) міститься в звичайній вуглецевій сталі в невеликій кількості (0,3-0,8%) і не впливає серйозно на її властивості. Марганець зменшує шкідливий вплив кисню і сірки, підвищує жорсткість і міцність сталі, її ріжучі властивості, підвищує гарт, але знижує стійкість до ударних навантажень. [23]

Сірка (S) і фосфор (P) є шкідливими домішками. Їх вміст навіть у невеликих кількостях погіршує механічні властивості сталі. Вміст сірки в сталі більше 0,045% робить сталь червоноламкою, тобто при її куванні в нагрітому стані з'являються тріщини. Марганець, який зв'язує сірку з сульфідами (MnS), захищає сталь від червоного окрихлення. Вміст у сталі більше 0,045% фосфору робить сталь холодноламкою, тобто легко ламається на холоді. Фосфор трохи покращує оброблюваність сталі, оскільки допомагає відокремлювати стружки. [22]

Титан (Ti) підвищує міцність, щільність і пластичність сталі, покращує оброблюваність і стійкість до корозії. Підвищує зміцнення сталі при низьких температурах і знижується при високих.

Хром (Cr) покращує міцність, загартовуваність і термостійкість, ріжучі властивості та стійкість до стирання, але зменшує в'язкість і теплопровідність сталі. Високий вміст хрому (до 2% у звичайних марках

сталі та до 25% у спеціальних марках) робить сталь стійкою до іржі та забезпечує стабільність магнітних сил. [23]

Молибден (Mo) підвищує міцнісні властивості, підвищує твердість, червону твердість і антикорозійні властивості. Це робить його термостійким, підвищує несучу здатність конструкцій при ударних навантаженнях і високих температурах. Утруднює зварювання, так як активно окислюється і вигорає.

Нікель (Ni) підвищує міцність, міцність і еластичність, але дещо знижує теплопровідність сталі. Добре працюють нікелеві сталі. Значний вміст нікелю робить сталь немагнітною, корозійною та термостійкою.

Вольфрам (W) утворює в сталі тверді хімічні сполуки - карбіди, значно підвищує твердість і стійкість до почервоніння. Підвищує експлуатаційні характеристики сталі при високих температурах, її зміцнення, підвищує стійкість сталі до корозії та стирання, знижує зварюваність.

Ванадій (V) забезпечує дрібнозернисту сталь, підвищує жорсткість і міцність. Підвищує щільність сталі, оскільки є хорошим розкислювачем. Зменшує сприйнятливості сталі до перегріву та покращує зварюваність.

Кобальт (Co) підвищує термостійкість, магнітні властивості, підвищує ударостійкість.

Алюміній (Al) є активним розкислювачем. Він робить сталь дрібнозернистою, однорідною за хімічним складом, запобігає старінню, покращує формуємість, підвищує твердість і міцність, підвищує стійкість до окислення при високих температурах.

Мідь (Cu) впливає на стійкість до корозії, межу плинності та твердість. Не впливає на зварюваність.

## 3.2. Методи дослідження

Контроль технологічного процесу полягає в суворому дотриманні виду науглероживання та термічної обробки, а саме:

- Контроль температури (термопара).
- Контроль тиску в цементній камері (монометр).
- Перевірка рівня масла в баку загартування.
- Контроль споживання газу та складу атмосфери.

При перевірці якості деталей шпаклівки перевіряйте:

- Товщина шару. Зазвичай його визначають на зразках, виготовлених з тієї ж сталі, науглероджених і термічно оброблених так само, як і деталі. Товщину шару оцінюють за жорсткістю або мікроструктурою.

- Твердість поверхні та серцевини, а також розподіл твердості по шару. Вимірювання жорсткості здійснюється безпосередньо під час обробки деталі.

- Мікроструктура перевіряється в лабораторії на зрізах цементних деталей або зразках матеріалу. У шарі шпаклівки визначають розподіл мартенситу, наявність і розташування карбідів, залишкового аустеніту та дефектів шару (цементитна сітка, надмірні скупчення карбідів, наявність троститу та ін.).

- Також аналізується структура сердечника з акцентом на наявність фериту та його розподіл.

- Вміст вуглецю визначають за пошаровим або спектральним аналізом [30].

### 3.2.1 Макро- мікро аналізи

Макроструктуру досліджують за допомогою зламу, розрізу злитка та макрозрізів. Можна визначити розмір зерна, форму і структуру волокна, а також виявити видимі дефекти: пористість, порожнини, бульбашки газу, тріщини, неметалічні включення.

Мікрорізи, а саме зразки після їх виготовлення (шліфування та полірування), протравлюють. 4% розчин азотної кислоти в спирті використовують для переварювання чавуну і сталі; для розщеплення алюмінієвих сплавів - 0,5% розчин плавикової кислоти у воді.

Окремі структурні компоненти розчиняються травителем: одні сильніші, інші слабші, тому під мікроскопом отримують різні відбиття світла від більш і менш протравлених частинок структури; одні з них виглядають темними, інші світлими. Точність визначення структури конструкції залежить від властивостей виготовленого перерізу. Мікроаналіз дає змогу визначити розмір і форму найдрібніших зерен, якість термічної обробки, а також дрібні дефекти металу чи сплаву (волосисті тріщини, неметалічні вclusions) [13].

### **3.2.2 Визначення твердості та мікротвердості**

Дослідження жорсткості завжди виконуються безпосередньо на поверхні виробу або компонента шляхом механічного вдавлювання іншого, більш жорсткого тіла (індентора) в метал.

Будь-який метод визначення жорсткості полягає в нагнітанні робочої рідини (пенетратора) на плоску поверхню досліджуваного матеріалу зразка або деталі. Через велику кількість параметрів різних матеріалів на практиці використовуються різні методи визначення жорсткості. В одних методах індентором є кулька (метод Брінеля), в інших — карбідний або алмазний конус (метод Роквелла) або алмазна піраміда (метод Віккерса, мікротвердість). Втиснення індентора в поверхню матеріалу здійснюється з різним навантаженням у кожному способі визначення жорсткості. Сила навантаження на індентор залежить від властивостей матеріалу, розміру (товщини) прототипу та інших факторів експерименту. [12, 13, 30].

### **Висновки**

Довговічність і надійність деталі залежить від матеріалу і його міцності конструкції. Підвищення експлуатаційних характеристик виробу досягається за рахунок правильного вибору марки сталі.

При виборі матеріалу для виготовлення деталей за кресленнями замовника необхідно враховувати механічні властивості після термічної обробки, ціну і дефіцит сталевих легуючих добавок, їх загальну вартість.

Вали-шестерні широко використовуються в приводних механізмах і коробках передач у різних галузях промисловості.

Вали трансмісії працюють в умовах поверхневого зносу під час дії динамічних навантажень. Такі деталі виготовляють із низьковуглецевих сталей, що містять 0,10–0,30 % С, а потім піддають цементуванню. Зазвичай вироби, виготовлені з високолегованих цементованих сталей, цементуються на невелику глибину.

Виходячи з умов експлуатації та технічних вимог, основним варіантом виготовлення виробу є сталь 20, яку ми замінюємо на 18ХГТ.

Цей тип сталі відноситься до групи легованих конструкційних сталей, від яких, крім підвищеної міцності та зносостійкості, потрібні еластичні властивості (наприклад, це такі деталі, як цанги, різні кільця, пружинні шайби, фрикційні диски, колінчасті вали, полуосі, штиркові шестерні). деталі, піддані гартуванню та відпуску; Ця сталь успішно замінює дорогі хромонікелеві сталі.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 4.1. Отримання заготовки вала-шестерні

Деталь вал-шестерня виготовляється зі сталі 18ХГТ.

У технічних умовах для відповідальних, навантажених деталей, працюючих в умовах знакозмінних навантажень, спеціальних середовищах (вали, диски і лопатки турбін і компресорів, деталі зубчастих з'єднань) вказуються вимоги до якості матеріалів, до механічних, а іноді і до експлуатаційних властивостей. Для подібних деталей доцільно, як правило, застосовувати ковани або штамповані заготовки, які володіють підвищеними механічними властивостями. Заготівельним матеріалом для вала-шестерні слугує поковка. Це заготовка, яку отримують куванням для подальшої механічної обробки. Кування є одним з економічних способів отримання заготовок. Куванням досягають дві основні мети: надають заготівці форму, що наближається до форми готового виробу; покращують механічні властивості матеріалу заготовки, внаслідок чого підвищується якість отриманого напівфабрикату або виробу [33, 34].

Заготовку в формі прокату переміщують в прес форму і деформують під форму що нагадує деталь.

Метал вільно тече в сторони, не обмежені робочими поверхнями інструменту, в якості якого застосовують вирізни бойки, а також різний підкладний інструмент [33, 34].

Виготовлення деталей типу валів-шестірень починається з обробки торців і свердління центровочних отворів, які використовуються в якості технологічних баз. На перших операціях виготовлення зубчастих передач



обробляються ті поверхні, які в подальшому будуть використані в якості технологічних баз.

Маршрут виготовлення валів-шестірень 5-6-й точності закінчується шліфуванням зубів (чорнове і чистове), встановленого на точне оправлення, а маршрут виготовлення валів-шестірень 7-8-го ступенів точності – шевінгуванням профілю зубів до термічної обробки, калібруванням отворів. Зубошліфування застосовують тільки для виправлення зубів при сильному викривленні їх під час термічної обробки [33, 34].

#### **4.2. Процес оброблення вала-шестерні**

При виготовленні деталі використовуються різні верстати: токарні з ЧПУ, зуборізні та шліфувальні напівавтомати, а також універсальні верстати.

Деталь не має оброблюваних поверхонь у утруднених для доступу інструменту місцях, зручна форма та великі розміри дозволяють міцно та надійно закріплювати деталь, не порушуючи законів єдності та суміщення баз, дозволяє широко використовувати засоби автоматизації та механізації.

Конструкція деталі технологічна, хоча потребує застосування високо точного устаткування. З більшою точністю обробляються поверхні зубчастого віночка, шийок під підшипники, шліців.

Деталь допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для початкових операцій та проста по конструкції та конфігурації.

Деталь працює у складних умовах. Імовірний підвищений знос у місцях контакту з підшипниками, а також знос зубів шестірни, що вимагає спеціальних заходів щодо зміцнення та обробки цих місць.

Щодо технологічності конструкції деталі можна висловити такі міркування. На підставі робочого креслення деталі, умов роботи деталі в

конструкції, а також з огляду на те, що конструкція деталі досить добре відпрацьована, очевидно, що про заміну деталі зварної, збірної або якоїсь іншої конструкції не йдеться. Недоцільно також проводити заміну матеріалу, наявний задовольняє вимогам по міцності, властивостям та оброблюваності.

Зовнішні поверхні деталі можуть бути використані як настановні чи опорні бази при обробці. Крім того, вони можуть бути використані як база при складанні.

У плані механічної обробки деталь, що розглядається, достатньо технологічна. Всі поверхні, що обробляються, мають зручне розташування для їх механічної обробки і дозволяють застосовувати високопродуктивні технологічні методи.

До нетехнологічних поверхонь можна віднести илубокий отвір усередині вала-шестірни.

Тому для технологічності його виготовлення необхідна розробка спеціального технологічного оснащення. Вимоги до точності розмірів та шорсткості поверхонь дозволяють намітити методи їх отримання. [33]

Для виготовлення деталі на підприємстві потрібно скласти технологічний процес виготовлення та маршрутну карту таблиця 4.1.

Таблиця 4.1.

Технологічний процес виготовлення вала-шестерні [33]

№ операції	Найменування і короткий зміст операції	Технологічні бази	Обладнання	Прийстосування	Ріжучий інструмент	Міряльний інструмент
005	Отримання зливку Безперервне розливання		Установка безперервного лиття			
010	Отримання сортового прокату		Прокатний стан			
015	Отримання мірних заготовок		Прес-ножиці			
020	Обробка тиском		Кривошипний гарячештам-			Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2

			повий прес			
025	Фрезерна. Фрезерувати торці і Зацентрувати їх.	Шейки і торець.	Фрезерно-цін вуючи напівавтомат MP71	Лещата трикулачні (губки-призми)	Дві фрези торцеві. Два свердла центровочних	Штанген- циркуль.
030	Точіння. Точити начорно поверхні: (Дві канавки) Фаски 1x45.	Центрові отвори і торець.	Багаторізцев ий напівавтомат 1721	Центру, план- шайба, повідкового пристрій	3 Різця прохідних і два різця канавкових, 3 різця для зняття фаски.	Скоби
035	Точіння. точити поверхні	Центрові отвори і торець.	Багаторізцев ий напівавтомат 1721	Центру, план- шайба, повідкового пристрій	1 Різець прохідний, різець для проточки буртиков, і 2 різця для зняття фаски.	Скоби
040	Напів чистове точіння. точити поверхні	Центрові отвори і торець.	Багаторізцев ий напівавтомат 1721	Центру, повідкового пристрій	3 Різця прохідних	Скоби
045	Напів чистове точіння. точити поверхні	Центрові отвори і торець.	Багаторізцев ий напівавтомат 1721	Центру, план- шайба, повідкового пристрій	різець прохідний	Скоби
050	Термообробка Цементация+ Гартування		Піч СШЦ- 4.9/10,5			
055	Термообробка Низький відпуск		Піч СШО-6.20/7			
060	Попереднє шліфування поверхонь	центрові отвори	Спеціальний многокамнев ий кругошлі- фовальний верстат	Центру, повідкового пристрій.	Абразивні круги.	Скоби
065	Попереднє шліфування поверхонь	центрові отвори	Спеціальний многокамнев ий кругошлі- фовальний верстат	Центру, повідкового пристрій..	Абразивні круги..	Скоби
070	Фрезерування паза	Шейки, торець	Шпони фрезерний верстатДФ- 96.	Призма	Кінцева фреза з маятникової подачею.	
075	Фрезерування циліндричних зубів	центрові отвори	Зубофрезерн ий верстат 5313	Центру, повідкового пристрій..	Черв'ячна модульна фреза.	
080	Зняття фасок на торцях зубів.	центрові отвори		Центра		
085	Шевінгування зубів.	Шийки, торець	Шевінговаль ний верстат 5702В	Центра	Шевер спеціальної конструкції.	
090	Слесарна	-	-	-	-	-
095	Промивка	-	-	-	-	-

## Висновки

Сучасна промисловість має велику кількість способів виготовлення заготовок. Це дозволяє підвищити якість і експлуатаційні характеристики деталей, знизити матеріальні і трудові витрати на їх виготовлення. При розробці технологічних процесів виробництв базовими вихідними даними є: креслення деталей, вузлів і машин; технічні умови й опис службового призначення деталі. При розробці технологічного процесу розроблюють маршрутну технологію виготовлення деталі. У технічних умовах для відповідальних, навантажених деталей, працюючих в умовах знакозмінних навантажень, спеціальних середовищах (вали-шестерні, деталі зубчастих з'єднань) вказуються вимоги до якості матеріалів і до механічних, а іноді і до експлуатаційних властивостей. Для подібних деталей доцільно, як правило, застосовувати ковані або штамповані заготовки, які володіють підвищеними механічними властивостями. Кування є одним з економічних способів отримання заготовок. Куванням надають заготовці форму, що наближається до форми готового виробу; покращують механічні властивості матеріалу заготовки, внаслідок чого підвищується якість отриманого напівфабрикату або виробу.

## РОЗДІЛ 5

# ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

### 5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі

Для того щоб вали-шестірні мали високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, збільшений термін служби контакту, а також в'язкість і м'який сердечник, могли сприймати (гасити) значні навантаження, що діють на деталі, необхідно переносити виділяють наступну термічну та хіміко-термічну обробку: карбонітрування + зміцнення + низький відпуск.

Перед процесом нітроцементації, як і перед будь-яким технологічним процесом, важливу і основну роль грає попередня і правильна підготовка. Такою підготовкою є попередня термічна обробка сталей. Справа в тому, що сталь, що надходить на виробництво в стані поставки, не завжди відповідає всім необхідним вимогам.

Попередню термічну обробку проводять для виправлення дефектів конструкції (великі зерна, цементитна сітка, пластинчастий перліт), зниження жорсткості (після кування, штампування, різьблення тощо) та підготовки до чистової обробки для підвищення зносостійкості. Вид попередньої термічної обробки залежить від марки сталі, вмісту вуглецю та наявності чи відсутності легуючих елементів.

Відпал – фазова перекристалізація, яка полягає в нагріванні вище  $AC_3$  з подальшим повільним охолодженням у печі. При нагріванні вище  $AC_1$ , але нижче  $AC_3$ , повна перекристалізація не відбудеться; така термічна обробка називається неповним відпалом. Під час відпалу стан сталі наближається до

структурної рівноваги; конструкція сталі після відпалу — перліт + ферит, перліт або перліт + цементит [35, 36].

Послідовність операцій обробки вала-шестерні, виготовленого зі сталі 18ХГТ: 1) заготовка; 2) нормалізація; 3) механічна обробка; 4) цементация + гартування; 5) механічна обробка; 6) низький відпуск; 7) механічна обробка.

Після відпалу сталь повільно охолоджують разом з піччю. Деталі, виготовлені з вуглецевої сталі, охолоджують зі швидкістю 180-200 °С за годину, з низьколегованих сталей – зі швидкістю 90-100 °С за годину, з високолегованих - зі швидкістю приблизно 50 °С за годину [36, 37].

В результаті тривалої витримки при високій температурі цементации відбувається перегрів, що супроводжується зростанням зерна. Для отримання високої твердості цементованного шару і досить високих механічних властивостей серцевини, а також для отримання в поверхневому шарі дрібнозернистого мартенситу, деталь після цементации піддамо подальшій термічній обробці.

В результаті цементации поверхневий шар деталі насичується вуглецем (0,8 - 1% С), а в серцевині залишається 0,12 - 0,32% С, тобто виходить ніби двошаровий метал. Тому для отримання потрібної структури і властивостей в поверхневому шарі і в серцевині необхідна подвійна термічна обробка.

Гартування - це вид термічної обробки, що складається в нагріванні сталі до певної температури, витримці і наступному швидкому охолодженні. В результаті гартування підвищується твердість і міцність, але знижується в'язкість і пластичність. Нагрівання сталі проводиться на 30-50 °С вище лінії GSK діаграми Fe-Fe<sub>3</sub>C. У доевтектоїдних сталях нагрів вище лінії GS необхідний для того, щоб після гарту в структурі не було м'яких феритних включень. для заевтектоїдних сталей застосовується нагрівання вище лінії SK, так як присутність цементиту не знижує твердість сталі.

Зазвичай в результаті гарту утворюється мартенситна структура.

Тому охолоджувати сталь слід з такою швидкістю, щоб крива охолодження не перетинала C - образні криві діаграми ізотермічного перетворення аустеніту. Для досягнення високої швидкості охолодження гартовані деталі занурюють у воду (для вуглецевих сталей) або мінеральні масла (для легованих сталей) [14].

Здатність сталі гартуватися на мартенсит називається прогартованістю. Вона характеризується значенням твердості, що отримується в сталі після гарту і залежить від вмісту вуглецю. Сталі з низьким вмістом вуглецю (до 0,3%) практично не гартуються і гарт для них не застосовується.

Відпуск сталі - це вид термічної обробки, наступний за гартуванням і що полягає в нагріванні сталі до певної температури (нижче лінії PSK), витримці і охолодженні.

Мета відпуску – отримання більш рівноважної по порівняно з мартенситом структури, зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості і пластичності. Розрізняють низький, середній і високий відпуск.

Низький відпуск проводиться при температурі 150-200 °С. В результаті знімається внутрішня напруга, відбувається деяке збільшення пластичності і в'язкості без помітного зниження твердості. утворюється структура мартенсит відпуску. Низькому відпуску піддають ріжучий і вимірювальний інструмент, а також деталі, які повинні володіти високою твердістю і зносостійкістю [14].

Після цементації деталь надходить на механічну обробку. Основна мета гарту сталі це отримання високої твердості, і міцності що є результатом утворення в ній нерівноважних структур - мартенситу, троостита, сорбіту. Заевтектоїдну сталь нагрівають вище точки  $A_{C1}$  на 30 - 90 °С. Нагрівання заевтектоїдної сталі вище точки  $A_{C1}$  проводиться для того, щоб зберегти в структурі загартованої сталі цементит, є ще більш твердої складової, ніж

мартенсит (температура заевтектоїдних сталей постійна і дорівнює 760-780°C).

Відпуск при 150-170 °С проводиться для зняття внутрішніх напружень. Після такого режиму термічної обробки структура поверхневого шару - дрібнозернистий мартенсит з вкрапленнями надлишкового цементиту, а серцевини - дрібнозернистий ферит + перліт. Графік термічної обробки представлено на (рис. 5.1).

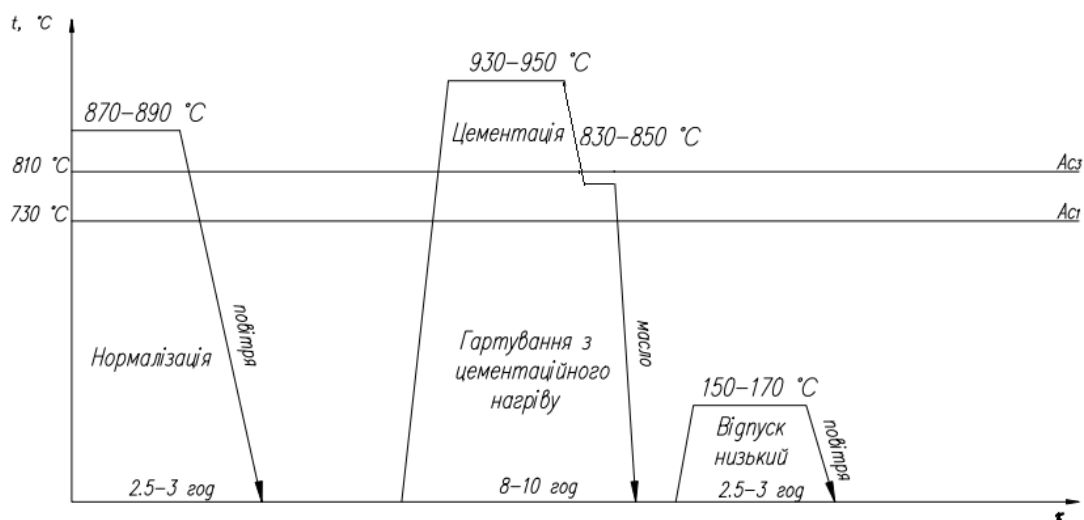


Рисунок 5.1 – Графік режиму термічної і хіміко-термічної обробки деталі зі сталі 18ХГГ.

Сталь має низький вміст вуглецю (не більше 0,25%) і піддається цементації - поверхневого насиченню вуглецем з наступним загартуванням і низьким відпуском. Твердість поверхневого шару після цього досягає HRC 60, а серцевини - HRC15...30.

Після цементації вироби мають високовуглецеву поверхневу зону, вміст вуглецю в яких становить 1,1%, і низьковуглецеву серцевину з вмістом вуглецю 0,2%. Мікроструктура цієї сталі представлена на (рис. 5.2.).



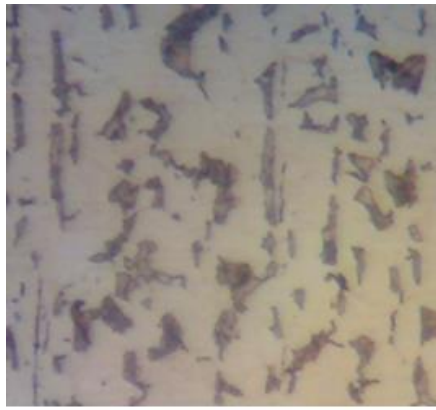


Рисунок 5.2 – Структура сталі 18ХГТ після нормалізації, x500

Після термічної обробки поверхневий шар має структуру мартенситу відпустки з включеннями цементиту, а серцевина – структуру бейніту з включеннями фериту (рис. 5.3.).



Рисунок 5.3 – Структура сталі 18ХГТ після цементації + гартування з цементаційного нагрівання, x500

## 5.2. Вибір обладнання для проведення операцій термічної обробки

Основне обладнання застосовується для виконання основних технологічних операцій термообробки. До нього належать нагрівальні печі й установки, механізовані агрегати, обладнання для охолодження (гартівні баки і машини, установки для обробки металу холодом тощо). Додаткове обладнання містить устаткування для виправлення й очищення деталей (гідравлічні та механічні правильні преси, травильні установки, мийні

машини, дробо- і гідропіскоструминні апарати та ін.). До допоміжного обладнання належать контрольновимірювальна апаратура, пристрої для охолодження гартівних рідин, підйимально-транспортне, санітарно-технічне обладнання, установки для приготування захисних атмосфер тощо [41]. До числа основного обладнання, що забезпечує проведення технологічного процесу термообробки відносяться: СШЗ-6.12/10; Ц-90; СШО10.10/3.

Також цю піч використовуємо для гартування з підстужуванням з нітроцементатійного нагріву. Такі печі мають задовільні технологічні характеристики і забезпечують досить рівномірну нітроцементатію виробів по всьому об'єму реторти [41].

Для проведення цементатії та гартування вала-шестерні обираємо піч шахтного типу марки СШЦ-4.9/10,5, ескіз печі представлено (Рисунок 5.4.).

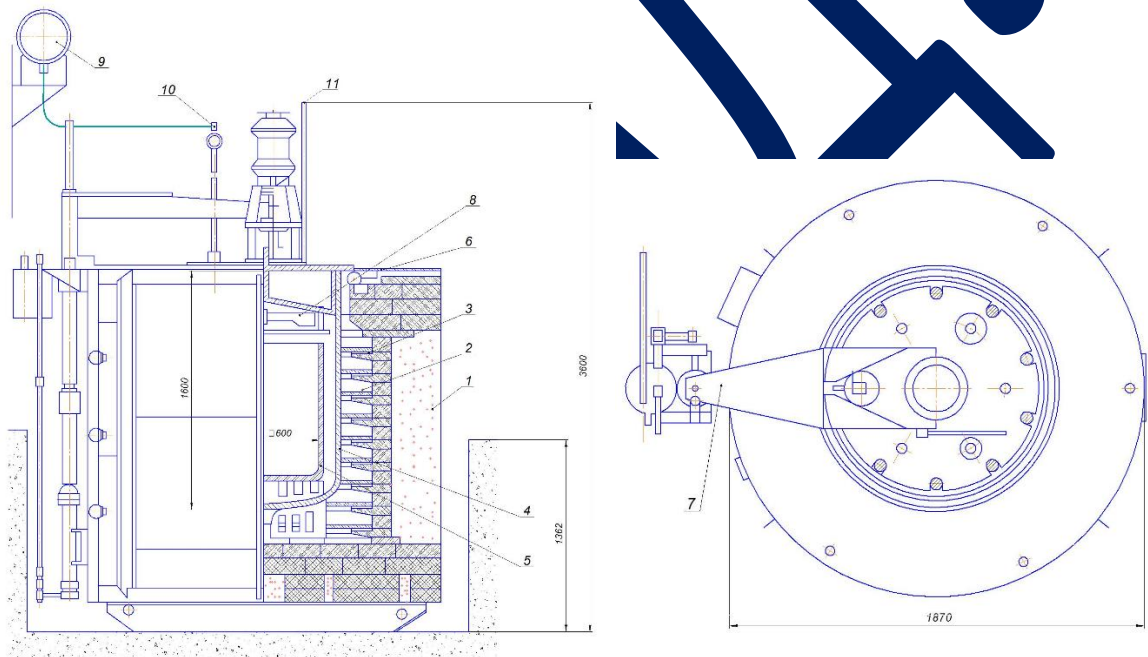


Рисунок 5.4 – Шахтна муфельна цементатійна піч СШЦ-4.9/10,5:

- 1 – металевий каркас; 2 – нагрівальна камера; 3 – нагрівальний елемент;
- 4 – жаротривка реторта; 5 – корзина для деталей; 6 – кришка;
- 7 – гідравлічний механізм; 8 – вентилятор; 9 – бачок для рідини; 10 – регулювальний кран; 11 – отвір для відпрацьованого газу.

Після цементації, вироби піддають завершальній обробці - гартуванню, нормалізації, охолодженню в гартівній ванні і низькому відпуску, що б усунути викривлення деталі і різко підвищити твердість виробу. Режим термообробки після цементації залежить від багатьох чинників: способу цементації, марки стали, структури дифузійного шару і т.д.

Для очищення штампу після операцій охолодження обираємо мийну машину марки ММК 7.13.5/1.

В якості підйомно-транспортного обладнання на ділянках установлений електротельфер (електрична таль), підвішений на монорейковому пристосуванні і переміщується вручну або електродвигуном.

Для контролю твердості після гартування використовується прилад для вимірювання твердості за Роквелом ТК-2 (шкала HRC). Перевірка твердості – 5% деталей від партії.

### **5.3. Розрахунок обладнання**

Для виготовлення певного об'єму готового виробу потрібна деяка кількість обладнання та устаткування. Для проведення термічної обробки на певну кількість виробів в рік потрібно розрахувати кількість необхідного обладнання. В це обладнання входить основні металургійні печі, допоміжно до яких входять: ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюризатору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, експрес - лабораторії з аналізу матеріалів.

Розрахунок основного обладнання

Встановлюємо річну програму з виготовлення валу-шестерні 100000 штук.

Розрахунок обладнання проводимо користуючись інформацією, щодо річної програми та вихідних даних, щодо деталі:

- діаметр деталі  $d = 0,093$  м;

- довжина поверхні деталі  $l = 0,235$  м;
- маса деталі  $m = 5,3$  кг.

Так як ми знаємо кількість всіх деталей виготовлених за рік – це 100000 штук, ми можемо розрахувати масу всіх деталей виготовлених за рік.

$$100000 * 5,3 = 530000 \text{ кг або } 530 \text{ т.}$$

Для процесу термічної обробки вала-шестерні будуть застосовані такі печі:

- СШЦ-4.9/10,5– цементація;
- СШЦ-4.9/10,5 – гартування;
- СШО 6.20/7 – низькотемпературний відпуск;

Розрахуємо кількість та КПД печей:

- СШЦ-4.9/10,5, продуктивність печі = 220 кг/год.

$$530000 / 220 = 2409$$

$$3045 / 3900 = 0,62 - 1 \text{ піч}$$

$$\text{КПД} = 0,62 * 100 / 1 = 62\%$$

- СШЦ-4.9/10,5, продуктивність = 220 кг/год.

$$530000 / 220 = 2409$$

$$3045 / 3900 = 0,62 - 1 \text{ піч}$$

$$\text{КПД} = 0,62 * 100 / 1 = 62\%$$

- СШО 6.20/7, продуктивність = 60 кг/год.

$$530000 / 60 = 8833$$

$$11200 / 3900 = 2,26 - 4 \text{ печі}$$

$$\text{КПД} = 2,26 * 100 / 4 = 56\%$$

Розраховуємо час нагріву і витримки усього процесу виготовлення деталі:

$$\tau = \tau_n + \tau_v,$$

де  $\tau_n$  – час нагріву;

$\tau_v$  – час витримки.

$$\tau_n = 0,1D_1 * k_1 * k_2 * k_3,$$

де  $D_1$  – розмірна характеристика виробу,  $\min$  і  $\max$  розмір перетину деталі;

$k_1$  - коефіцієнт нагріву середовища: газове середовище – 2, розплав солей – 1, нагрів розплаву металу – 0,5;

$k_2$  - коефіцієнт форми для кулі = 1; циліндр = 2; паралелепіпед = 2,5; пластина = 4;

$k_3$  - коефіцієнт рівномірності розміра, якщо нагрів буде з 1 сторони = 4; з 3 сторін = 1,5; і 4 сторін = 1.

$\tau_n$  нормалізації = 30 хвилин;  $\tau_v$  нормалізації = 2,5 годин.

$\tau_n$  цементації + гартування = 4 години;

$\tau_v$  цементації + гартування = 8-10 хвилин.

$\tau_n$  відпуску = 0,5 години;  $\tau_v$  відпуску = 2,5-3 годин.

Тепер знаходимо загальний час, кожної термічної обробки за формулою:

$$\tau = \tau_n + \tau_v,$$

$\tau_n$  нормалізації = 2,5-3 годин;

$\tau$  гартування = 8-10 годин;

$\tau$  відпуску = 2,5-3 годин;

Загальний час виготовлення деталі:

$$\tau = \tau_{\text{нормалізації}} + \tau_{\text{гартування}} + \tau_{\text{відпуску}} = 18 \text{ годин.}$$

#### 5.4. Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується

Головними елементами виробничої структури підприємства є робочі місця, ділянки і цеху.

Ділянка виробничий підрозділ, що об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального

виробничого процесу по виготовленню продукції або обслуговування виробничого персоналу.

Для розміщення проекрованої ділянки цеху, з шкідливими газовиділеннями і значними надлишками тепла (більше 20 ккал / м<sup>3</sup> на годину), як правило, має використовуватися одноповерхова будівля прямокутної форми, що забезпечує найбільш ефективне видалення шкідливих речовин звичайним шляхом.

При компопуванні термічного цеху в загальному корпусі з іншими цехами виробниками (ковальський, механічний), цех слід розташовувати у найбільш протяжної сторони, уздовж зовнішньої стіни корпусу з метою роцращення операцій.

Всі елементи будинку термічного цеху відносяться до категорії Т за ознакою пожежонебезпеки і повинні виконуватися з негорючих матеріалів, що відповідають I і II ступенях вогнебезпеки.

Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м, встановлюється в залежності від схеми розміщення обладнання і необхідної ширини проїздів.

У проектованому цеху приймаються наступні сітки колон 12 x 18, 12 x 24, для кранових будівель 12 x 24, 12 x 30 для будинків обладнаних кранами. Прольоти 6, 9 і 12 метрів. Висота прольоту приймається в залежності від умов роботи. Для термічної ділянки, яка характеризується значним теплом і не вимагає утеплення покриття, проектуємо його з азбоцементних листів. На ділянці застосовуємо світло аерозольні ліхтарі "П"-подібного профілю. Покриття підлог на ділянці використовуємо не слизьке, яке легко очищається від забруднень. Для монтажу і ремонту устаткування використовується підвісне обладнання (кран), і транспортні пристрої (кари, навантажувачі).

Термічні цехи характеризуються великою кількістю інженерних комунікацій, установка і монтаж яких ускладнює нормальне проведення технологічного процесу і не задовольняє вимогам промислової естетики.

Питання раціонального розміщення комунікацій, допоміжного обладнання та складських приміщень може бути вирішене шляхом спорудження, тунелів підвалу або технологічного поверху.

Для визначення геометричних параметрів ділянки необхідно розрахувати її площу.

Загальна площа ділянки за призначенням ділиться на:

- виробничу;
- допоміжну;
- контрольно-побутову.

До виробничо-побутової площі відносяться площі виробництва, на яких проводиться обробка виробів, а також площі для зберігання виробів до і після термічної обробки.

До складу допоміжних площ входять:

- ділянки контролю термічної обробки;
- проїзди для внутрішнього транспортування вантажів;
- площі, займані установками для приготування карбюратору;
- Майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування;
- Експрес - лабораторії з аналізу матеріалів і технологічних параметрів карбюраторів.

До конторських-побутовим площами належать приміщення контор ділянки. Необхідні площі проектованої ділянки розраховуємо за укрупненими показниками, використовуючи довідкові дані.

Розрахунок площі цеху:

$$S_{\text{ЗАГ}} = S_{\text{ПОЛ}} + S_{\text{ПРОХ}} + S_{\text{ВСП}}$$

де  $S_{\text{ПОЛ}}$  - корисна виробнича площа необхідна для розташування обладнання;

$S_{\text{ПРОХ}}$  - площі проходів і проїздів;

$S_{\text{ВСП}}$  - допоміжна площа.



$$S_{\text{ПОЛ}} = \sum S_i,$$

$S_i$  - площа для даного обладнання.

$$S_{\text{ПОЛ}} = 405 \text{ м}^2$$

Допоміжна площа і площа проходів та проїздів встановлюється в розмірі 25-35% від виробничої площі

$$S_{\text{ВСП}} = 25 \dots 35\% * S_{\text{ПОЛ}} = 30\% * 238 = 142 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ПРОХ}} = 25 \dots 35\% * S_{\text{ПОЛ}} = 30\% * 238 = 142 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ЗАГ}} = 405 + 142 + 142 = 689 \text{ м}^2$$

Отриману  $S_{\text{ЗАГ}}$  розбивають на сітку колон.

Таким чином, ми отримуємо термічний ділянку розмірами:  $42 \times 18 = 756 \text{ (м}^2\text{)}$ .

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

До складу термальних ділянок входять:

- виробничі ділянки;
- господарські будівлі (склад);
- склад готової продукції, допоміжних матеріалів, предметів інтер'єру;
- підстанції;
- службові та побутові приміщення.

Склад ділянок змінюється в залежності від розмірів і структури цеху, типу технологічних процесів та інших характеристик.

В основу розташування обладнання за планом і розділами майстерні повинні бути покладені:

1) Окреслено компоновку технологічного потоку вантажу, яка не допускає перекриття шляхів руху продуктів, що переробляються. Винятком можуть бути тільки цехи одиничного і дрібносерійного виробництва, при цьому весь потік вантажів повинен йти в одному напрямку.



2) Можливість обслуговування та ремонту обладнання.

3) Організація міжфірмових перевезень продуктів переробки.

При монтажі компоновки пристрою необхідно враховувати, що топки повинні розташовуватися вздовж зовнішніх стін.

Місця з токсичним, шумним обладнанням слід розміщувати в окремих приміщеннях, окремо від котельні.

Проїзди та проїзди бажано розташовувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей біля зовнішніх стін.

План термічної ділянки наведено у ДОДАТКУ В.

СММД

## Висновки

Термічна обробка є найпоширенішим методом, який використовується в сучасній техніці для зміни властивостей металів і сплавів. Термічна обробка — це процес обробки виробів із металів і сплавів термічним впливом з метою зміни їх структури та властивостей у певному напрямку. Цей ефект також можна поєднувати з хімічними, деформаційними, магнітними та іншими ефектами.

Для поліпшення оброблюваності сплаву для виготовлення виробів застосовують термічну попередню обробку; Підготовка металевої конструкції до остаточної термічної обробки, д. Х. отримання однорідної дрібнозернистої структури; зняти наклеп, зняти внутрішнє напруження; Поліпшення комплексу механічних властивостей. Використовуємо світіння. Для того, щоб вали-шестірні мали високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, збільшений термін служби контакту, а також в'язку, м'яку серцевину, сприймали (гасили) значні навантаження, що діють на деталі, необхідно витримувати таку хімічну -термічна обробка від. : Нітроцементация + зміцнення + низький відпуск.

Після цементування вироби мають багату вуглецем зону поверхні та бідну вуглецю серцевину.

Для контролю твердості після затвердіння використовується прилад для вимірювання твердості Rockwell ТК-2 (шкала HRC).

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній бакалаврській роботі було проаналізовано характеристики та умови роботи деталі «вал-шестерня», яка є складовою частиною редуктора зубчастого циліндричного двоступеневого горизонтального типу. Втрата працездатності виробу відбувається на поверхні в результаті зносу, розмивання, відколу зубів та інших і може призвести до виходу з ладу машини або механізму в цілому.

1) При виборі матеріалів необхідно забезпечити стійкість до контактної втоми поверхневих шарів зубів, міцність зубів на вигин, стійкість до задирання та зносу. Основними матеріалами є термічно або термохімічно оброблені сталі.

2) Було розроблено маршрутну технологію отримання деталі. Так як передбачено виготовлення заготовки куванням, і вона має припуски на механічну обробку, то для поліпшення оброблюваності різанням передбачена попередня термічна обробка – відпал.

3) В залежності від умов роботи вал-шестерні, покращення властивостей матеріалу досягається хіміко-термічною обробкою, частіше цементацією або нітроцементацією з послідуєчим гартуванням та низьким відпуском, рідше азотуванням. Виходячи з умов експлуатації та технічних вимог обираємо сталь 18ХГТ для виготовлення виробу.

4) Деталь має раціональну форму, що дозволяє використовувати високопродуктивні процеси для отримання заготовки та механічної обробки. Вибрано основне та допоміжне обладнання для термічної та хіміко-термічної обробки деталі.

5) Із запропонованих технологій, що відповідають сучасним вимогам, термоциклічне іонно-плазмове азотування та цементування продукту. Виходячи з перерахованих вище перспективних методів термічної обробки та технологічних та економічних факторів, ми пропонуємо цементування як метод хіміко-термічного поліпшення деталі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зуев В. М. Термическая обработка металлов. М.: Высшая школа, 1976.
2. Марочник сталей и сплавов. / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др.; под общ. ред В. Г. Сорокина. – М.: Металлургия 1989. – 640 с.
3. Гаркунов Д. Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов / Д. Н. Гаркунов, А. А. Поляков. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.
4. Рутковский А. В. Циклическая долговечность титанового сплава BT1-0 с покрытием, полученным методом ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА) / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи, Я. В. Можеитов. – Полтава : Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво), 2012. – № 2 (32), Т. 1. – С. 208-213.
5. Рутковский А. В. Износостойкость стали 40X13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразивного изнашивания / А. В. Рутковский, А. Ю. Кумуржи // Проблемы тертя та зношування. – 2012. – № 57. – С. 240-250.
6. Костин Н. А. Технологические аспекты повышения стойкости штампового инструмента / Курский государственный университет. Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2018. 287 с.
7. Трусова Е.В. Особенности процесса химико-термической обработки с использованием термоциклирования стали // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2017.
8. Бондаренко Г. Г., Рыбалко В.В., Кабанова Т.А. Материаловедение. М.: Машиностроение, 2013. 360 с.

9. Костин Н. А., Колмыков В. И., Трусова Е. В. Газовая цементация стали 18ХГТ с использованием термоциклирования // Auditorium. 2018. №3 (19).

10. Кудрин А. П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А. П. Кудрин, В. Ф. Лабунец, О. А. Вишневский // Вісник НАУ. – 2003. – № 2. – С. 111-114.

11. Пожидаева С.П. Технология конструкционных материалов: Уч. Пособие для студентов 1 и 2 курса факультета технологии и предпринимательства. Бирск. Госуд. Пед. Ин-т, 2002.

12. Гайдамак О.Л. Вузлі та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. Лабораторний практикум / О.Л. Гайдамак, В. І. Савуляк. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 92 с.

13. Степанова Н. Н. Методы исследования материалов и процессов: учеб. пособие / Н. Н. Степанова. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 133 с.

14. Картонова Л. В. Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение» / Л. В. Картонова. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2008. 98 с.

15. Петрова Л. Г. Прикладное применение химико-термической обработки для разработки процессов поверхностного упрочнения. Вестник ХНАДУ. 2010. Вып. 51. С. 26-34.

16. Анохин А. А. Некоторые прогрессивные технологии восстановления качества поверхности деталей. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Харьков. 2003. № 5. С. 10-16.

17. Повышение работоспособности плунжерных пар из стали 17...20ХГТ комбинированной нитроцементацией / В. Н. Гадалов, В. Р. Петренко, Ю. В. Скрипкина, Т. Н. Розина, Р. В. Бобрышев, Ю. В. Болдырев // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 8. С. 43-44.

18. On friction of metallic materials with consideration for superplasticity phenomenon / A. D. Breki, A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov, N. E. Starikov, D. A. Provotorov, N. N. Sergeyeв, D. M. Khonelidze // Inorganic Materials: Applied Research. 2017. T. 8. № 1. С. 126-129.

19. Перспективные процессы химико-термической обработки конструкционных сталей / В. Н. Гадалов, И. А. Макарова, А. В. Ляхов, В. И. Ляхов и др. // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 12. С. 567-575.

20. Малькова Н. Ю. Недостатки процессов и перспективные способы химико-термической обработки. Успехи современного естествознания. 2007. № 12-1. С. 124-124.

21. Серета Б. П., Калініна Н. Є., Кругляк І. В. Поверхнєве зміцнення матеріалів: монографія. Запоріжжя : Видавництво ЗДА, 2004. 230 с.

22. Коробка, О. О. Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «вал-шестерня редуктора»: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 6.050403 - інженерне матеріалознавство. О. О. Коробки; наук. керівник Т. П. Говорун - Суми: СумДУ, 2018. 71 с.

23. Колина Т. П., Тарасов А. Н., Брюханов В. В. Влияние состава, структуры и состояния поверхности на структуру и свойства диффузионных слоев при высокотемпературной нитроцементации сталей в активированных древесноугольных смесях. Вестник ОГУ. 2010. №10 (116). С. 148 - 152.

24. Склад для нитроцементації виробів з легованих сталей : пат. № RU 2314363 С1, клас (и) патенту: С23С8 / 76, номер заявки: 2006126472/02, дата подачі заявки: 20.07.2006, дата публікації: 20.07.2006.

25. Способ нитроцементации металов в пастах: пат. № 2254396, кл. С23С8/76, 2005, 2003128356/02, дата подачі заявки: 19.09.2003, дата публікації: 20.06.2005.

26. Костин Н. А., Трусова Е. В. Втомна міцність покращуваної сталі 30ХГТ після високо- і низькотемпературної нітроцементації». Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2016. № 4 (12).

27. Способ нитроцементации деталей из конструкционных и инструментальных сталей : пат. № 2592339: С1, заявл. 2015-03-06, опуб. 20.07.2016. Бюл. №20. 2016.

28. Новый способ нитроцементации стальных деталей / В. Г. Кирик, П. Е. Жарков, В. Б. Тарельник, Е. В. Коноплянченко, И. Е. Волошин // Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2017. №3 (49). С. 34 – 37.

29. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов / Под общей редакцией В.Г. Сорокина. Москва: Машиностроение. 1989. 640 с.

30. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» / укладачі Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. Суми: Сумський державний університет, 2011. 86 с.

31. Литовченко С.В., Доценко Е.А., Коштова С.Ю. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры: Методические материалы. Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2011. 14 с.

32. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч. 1. Випробування металів. / укладачі: А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Суми : Сумський державний університет, 2015. 53 с.

33. Марченко С. В. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. Суми : СумДУ, 2016. 146с.

34. Марченко С. В., Будник А. Ф., Юскаев В. Б. Основы виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2013. 232 с.

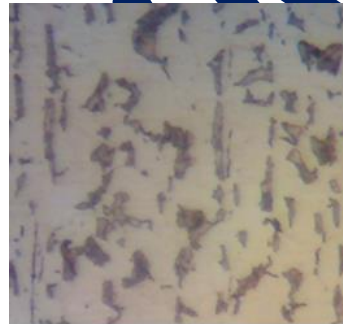
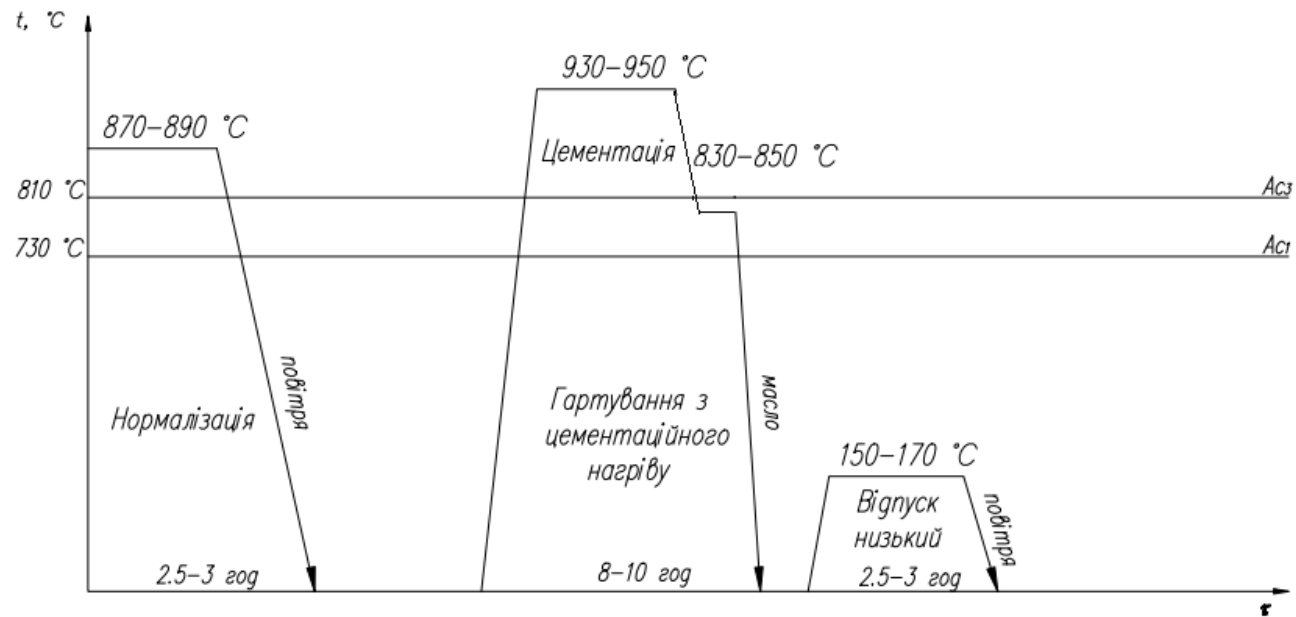
35. Левин Е. А., Юршева Н. В. Влияние предварительной термической обработки на структуру низкоуглеродистых и легированных сталей перед цементацией: Материалы XVIII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металловедов-молодых ученых. Екатеринбург, 21-23 ноября 2017. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 2-6.

Сумський державний університет

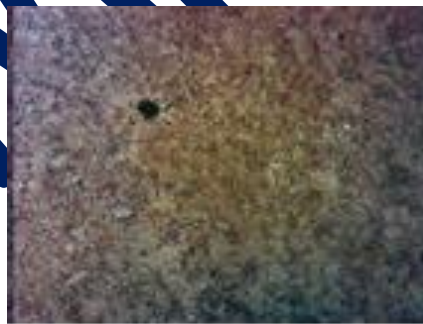




## ДОДАТОК Б



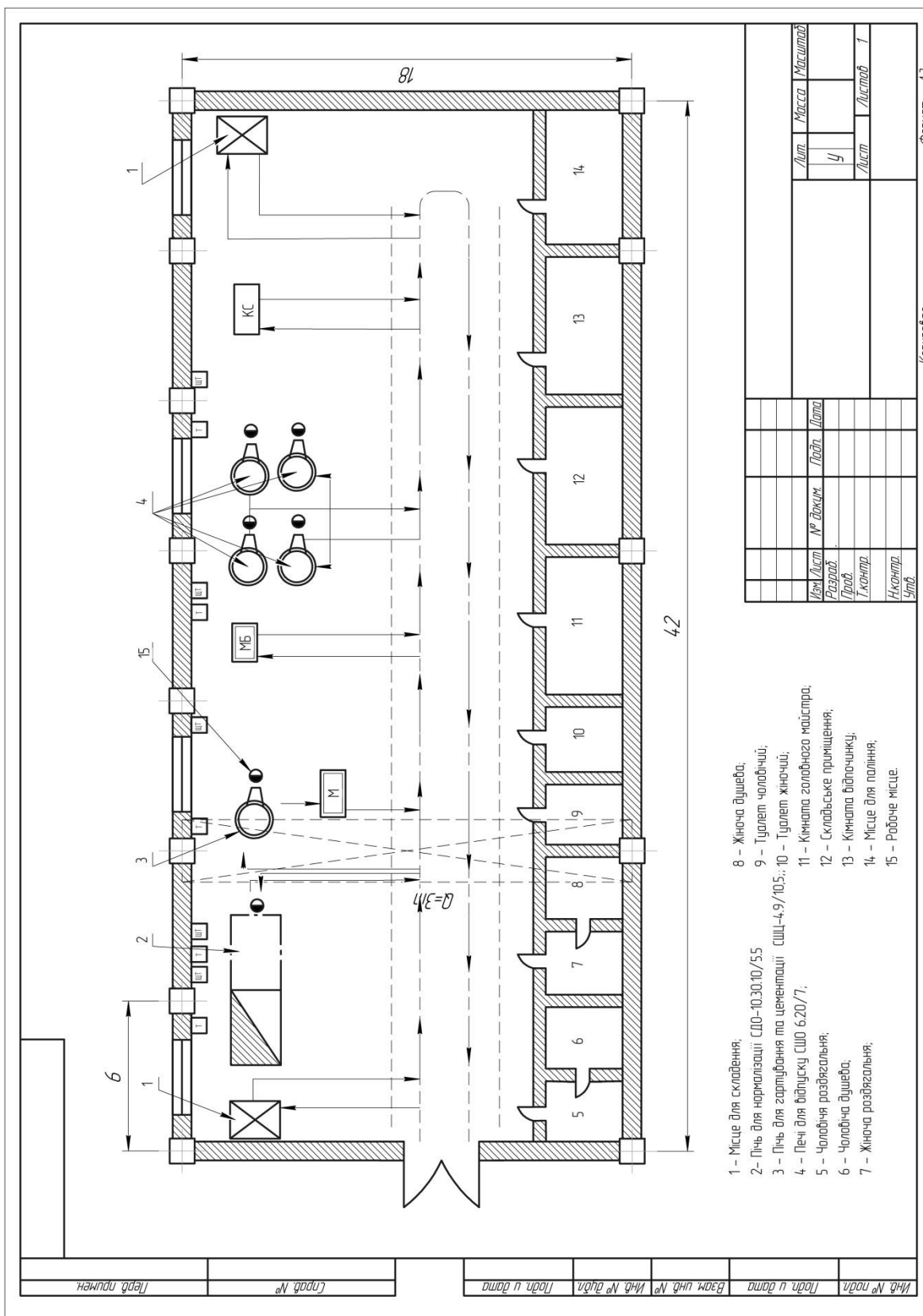
а)



б)

Структура сталі 18ХГТ: а) після нормалізації,  $\times 500$ ;  
б) після цементації + гартування з цементаційного нагріву,  $\times 500$

# ДОДАТОК В



- 1 – Місце для складення;
- 2 – Печь для нормалізації СДО-10.30.10/55
- 3 – Печь для гартування па цементациі СЩ-4.9/10.5.; 10 – Туалет жіночий;
- 4 – Печи для вібіуску СШО 6.20/7.
- 5 – Чоловіча роздягальня;
- 6 – Чоловіча душова;
- 7 – Жіноча роздягальня;
- 8 – Жіноча душова;
- 9 – Туалет чоловічий;
- 10 – Туалет жіночий;
- 11 – Кінната золотного майстра;
- 12 – Складське прищчення;
- 13 – Кінната відпочинку;
- 14 – Місце для паління;
- 15 – Робоче місце.

№	Лист	№ док-м	Подп.	Дата	Лист	Масштаб
Разраб.	У				Листов	1
Проб.						
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.						

Копія додал Формат А3

№ док. № подл.		Дата і дата		Взам. чин. №	
Лист №		Лист і дата		Лист №	
Лист. примеч.					