

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 і термічної обробки деталі «вал-шестерні»

Виконав:

студент Хижняк Серафим

Миколайович

Залікова книжка

№18510285

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

\_\_\_\_\_

Оцінка, дата

Керівник:

Дегула Андрій Іванович

Підпис \_\_\_\_\_

Секретар ЕК

\_\_\_\_\_

Прізвище, підпис

Марченко К.С.

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.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Хижняку Серафиму Миколайовичу, група МТ-81/1  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення і термічної обробки деталі «вал-шестерні»
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 \_\_\_\_\_ 2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент, Дегула А.І.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 57 сторінок, зокрема 5 таблиць, 8 рисунків, список із 24 використаних джерел на 2 сторінках, 4 додатків на 4 сторінках.

Вал - шестерня - це об'єднання в одному вузлі механізму і вала, і шестерні. Призначений для передачі обертових моментів за допомогою шестерні і зубчастого колеса в редукторі. Вал-шестерня використовується для зачеплення зубчастого колеса, що зумовлює передачу руху обертання від одного вала до іншого.

Вали - шестерні, що передають обертовий момент з одного вала на інший, вважаються одним з найбільш швидко зношуваних вузлів механізму незважаючи на те, що виготовляються з більш міцного і зносостійкого матеріалу, ніж звичайні шестерні.

**Мета роботи:** полягає в створенні маршрутної технології виготовлення та технологічного процесу зміцнення деталі вал-шестерня редуктора за допомогою проведення новітніх та технологічних методів термічної обробки для покращення експлуатаційних властивостей деталі.

**Методи досліджень:** використання стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі 12Х2Н4А для виготовлення деталі вал-шестерня редуктора та сучасних мікроскопічних і металографічних методів дослідження, що включають мікроскопічний і макроскопічний аналіз, теоретичні і практичні методи, огляд літературних джерел.

Ключові слова: вал, хіміко-термічне оброблення, термічне оброблення, твердість, міцність, температура, зносостійкість, нормалізація, гартування з нітроцементатійним нагрівом, відпуск, структура.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	<b>3</b>
<b>ЗМІСТ</b> .....	<b>4</b>
<b>ВСТУП</b> .....	<b>6</b>
<b>Завдання:</b> .....	<b>6</b>
<b>Розділ 1 характеристика та умови експлуатації деталі</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1 Аналіз умов роботи деталі «вал-шестерня»</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2 Причини виходу з ладу деталі «вал»</b> .....	<b>9</b>
<b>Висновки</b> .....	<b>11</b>
<b>РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Технології виготовлення та методи зміцнення деталі «вал-шестерня»</b> .....	<b>12</b>
<b>Висновки</b> .....	<b>16</b>
<b>РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Обґрунтування вибору матеріалу та опис впливу легувальних елементів</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Методи дослідження</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.1 Макро та мікро аналізи</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.2 Визначення твердості та мікротвердості</b> .....	<b>27</b>
<b>Висновки</b> .....	<b>28</b>
<b>РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1 Отримання заготовки вал-шестерня</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2 Процес обробки валу-шестерні</b> .....	<b>30</b>
<b>Висновки</b> .....	<b>34</b>
<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>35</b>
<b>5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі</b> .....	<b>35</b>
<b>5.2 Вибір обладнання для операцій термічної обробки</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3 Розрахунок обладнання для проведення термічного оброблення</b> .....	<b>44</b>
<b>5.4 Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується</b> .....	<b>46</b>

<b>5.5 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці.....</b>	<b>48</b>
<b>Висновки .....</b>	<b>50</b>
<b>Висновки .....</b>	<b>51</b>
<b>Література.....</b>	<b>53</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>55</b>
<b>ДОДАТОК Б .....</b>	<b>56</b>
<b>ДОДАТОК В.....</b>	<b>56</b>
<b>ДОДАТОК Г .....</b>	<b>57</b>

С У М І Д

## ВСТУП

Машинобудування у сучасному світі характеризується постійно зростаючими складними умовами експлуатації машин. Складні умови роботи машин висувають до матеріалів особливі вимоги. Для задоволення цих вимог створено велику кількість сплавів на основі різних металів.

Сучасні технології широко застосовують сталі, що забезпечують високу конструктивну міцність, і сплави, які залишаються міцними при високих температурах, в'язкими при температурах, близьких до абсолютного нуля, що володіють високою корозійною стійкістю в агресивних середовищах або іншими фізико-хімічними властивостями.

**Мета роботи** – розроблення технології виготовлення та термічної обробки деталі «вал-шестерня» зі сталі 12Х2Н4А.

### **ЗАВДАННЯ:**

- проаналізувати умови роботи деталі;
- провести аналіз літературних джерел щодо способів зміцнення деталей типу вал-шестерня;
- раціонально обрати матеріал для виготовлення деталі;
- розробити технологічний процес та термічну обробку виробу;
- вибрати основне та допоміжне обладнання для проведення термічної обробки;
- розробити план розташування обладнання на термічній ділянці.

**Методи досліджень** – макро- та мікроаналіз, вимірювання твердості за методами Брінелля та Роквелла.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

#### 1.1 Аналіз умов роботи деталі «вал-шестерня»

Дана деталь "Вал - шестерня" являє собою тіло обертання, відноситься до класу валів і входить до складу швидкохідного редуктора, в якості першого проміжного вала.

Вал - шестерня - це об'єднання в одному вузлі механізму і вала, і шестерні. Призначений для передачі обертових моментів за допомогою шестерні і зубчастого колеса в редукторі. Принцип роботи і призначення вала-шестерні це передача крутного моменту шляхом його обертання і зачеплення зубчатих елементів з іншим валом, так відбувається передача моменту обертання. Креслення редуктора наведено у ДОДАТОК Б.

Вали - шестерні, що передають обертовий момент з одного вала на інший, вважаються одним з найбільш швидко зношуваних вузлів механізму незважаючи на те, що виготовляються з більш міцного і зносостійкого матеріалу, ніж звичайні шестерні. Проте, величезні всебічні навантаження, які випробовує вал - шестерня в робочому процесі, досить швидко приводять його в абсолютно непридатний до роботи стан. Таким чином, необхідність заміни даного вузла механізму вимагає уважного спостереження та своєчасної реакції уникнення втрат робочого часу. [8]

В даний час використовують два види конструкції:

- цілісна конструкція валу і шестерні;
- насадна шестерня (деталі фіксуються за допомогою іншого виду з'єднання).

Цілісна конструкція є найбільш надійною, точною і міцною. Насадна шестерня використовується в механізмах, що вимагають поздовжнього переміщення шестерні вздовж осі вала. У роз'ємній конструкції вал та шестерня можуть бути виготовлені з різних матеріалів, також вона є більш ремонтпридатною. [8]

Виготовлення валу-шестерні проводиться із урахуванням призначення конкретної деталі та сфери її застосування, це дозволяє вибрати необхідний варіант термічної обробки, форму та діаметр. У процесі виробництва виріб проходить ретельний контроль якості

Оскільки деталь вал-шестерня представляє собою комплексний вузол, що складається з валу та шестерні, вона відчуває навантаження характерні для зубчатих передач та деталей типу осей та валів.

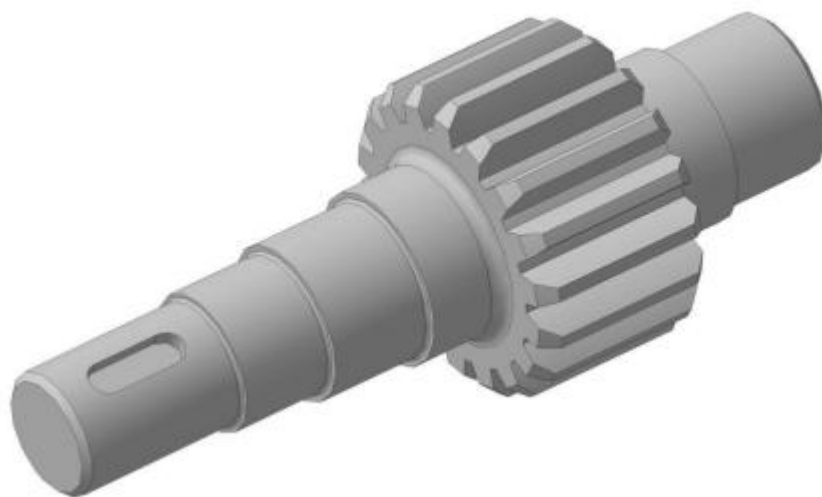


Рисунок 1.1 - Вал-шестерня



## 1.2 Причини виходу з ладу деталі «вал»

Вали сприймають сили з боку передач і, отже, вони відчувають складну деформацію: вигин, крутіння, розтяг - стиск. У процесі роботи можливі поломки, внаслідок дії статичних і втомних (у тому числі зумовлених коливаннями) навантажень, а також деформації неприпустимих значень. У зв'язку з цим основними критеріями працездатності є міцність, жорсткість і вібростійкість. У валів, що працюють в парі з підшипниками ковзання, важливо забезпечити зносостійкість. [16]

Практикою встановлено, що руйнування валів і осей швидкохідних машин у більшості випадків носить втомних характер, тому основний розрахунок - розрахунок на опір втоми. Крім того, їх розраховують на жорсткість і вібростійкість.

Межа витривалості валу сильно залежить від його конфігурації, від наявності концентраторів напруження і від величини і розподілу контактного тиску у разі, якщо для закріплення деталей на валу застосовані посадки з натягом.

Для оцінки міцності необхідно знати дійсні розподілу напружень в перерізах вала від зовнішніх навантажень, які передаються на вали від сполучених деталей і визначаються шляхом розрахунку [16].

Зважаючи на те, що втомна міцність сильно знижується при різкому зростанні контактного тиску, доцільно застосовувати деталі такої форми, при якій питомий тиск наростає поступово практикою експлуатації [1].

Вали можуть виявитися непрацездатними внаслідок появи неприпустимих пружних деформацій при розтягуванні, крученні або при вигині, що роблять істотний вплив на працездатний стан передач, підшипників і т. п. В таких випадках говорять про недостатність жорсткості деталі. Надмірне згинання і крутильні деформації призводять до порушення умов сполучення в сполуках з деталями і відносного положення їх контактуючих елементів. На несучих ділянках залежно від типу з'єднання можуть виникнути змінання робочих поверхонь шпонкових пазів, зубів, знос зубів, фрикційна корозія, концентрація

тиску, чим створюються передумови для виникнення вогнища втомного руйнування.

Поломки валів в більшості випадків носять втомних характер і відбуваються в зоні концентрації напружень. Причинами, що викликають їх, можуть бути: невдалий вибір конструктивної форми деталі і неправильна оцінка впливу концентратора напружень, порушення норм технологічної експлуатації (неправильне регулювання затягування підшипників, зменшення необхідних зазорів)[9].

Причиною виходу з ладу окремих швидкохідних валів можуть бути коливання. У відповідності з цим такі вали додатково розраховуються на коливання (вібростійкість).

Для більшості валів коливання викликаються силами від невірноважено встановлених на них деталей, якщо частота дії цих сил дорівнює частоті обертання валу. При збігу або кратності частоти обурених сил і частоти власних коливань вала настає резонанс, амплітуда коливань різко зростає і може досягти такого значення, при якому вал зруйнується. [9]

Зношування - процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і накопичення його залишкової деформації при терті, що виявляється в поступовій зміні розмірів і форми тіла.

На працездатність зуба вирішальний вплив роблять контактні напруги і напруги вигину біля основи зуба, які змінюються у часі по пульсуючому законом.

Важливий компонент силового режиму зубів валів шестерень, що збільшує напруги, - додаткове динамічне навантаження. Вона виникає через похибки їх виготовлення і збірки, а також через зношування профілів зубів і тим вище, чим нижче точність виготовлення коліс і більше швидкість обертання. [10]

Контактні напруження і сила тертя є причиною пошкодження робочих поверхонь зубців: втомного викришування (пітингу), зношування і заїдання. Напруження вигину є причиною втомного руйнування (поломки) зубів.

Забезпечення працездатності зубчастих колії пов'язана з попередженням пошкоджень зубів і їх поломок. Основними критеріями працездатності є:

контактна витривалість, витривалість при згині, стійкість до зношування і заїдання[10].

### **Висновки**

Отже, матеріал для виготовлення деталі «Вал-шестерня» повинен мати високу контактну та загальну міцність та твердість, при достатній в'язкості серцевини, чинити опір утворенню подряпин та задирів, бути економічним та не містити в своєму складі дефіцитних легувальних елементів.

Практикою експлуатації і спеціальними дослідженнями встановлено, що навантаження, що допускається з контактної міцності зубів, визначається в основному твердістю матеріалу. Високу твердість у поєднанні з іншими характеристиками, а отже, малі габарити і масу передачі можна отримати при виготовленні зубчастих коліс із сталей, підданих термообробці. Сталь в даний час основний матеріал для виготовлення зубчастих передач і в особливості для валів-шестерень високонавантажених передач.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2.1 Технології виготовлення та методи зміцнення деталі «вал-шестерня»

**Контактна витривалість** - здатність матеріалу протистояти розвитку втомного викришування, яке є основним видом поверхневого руйнування зубів. Воно характерне для більшості закритих, добре змащуваних передач.

Викришування виникає і розвивається на ніжках зубців. Руйнування починається з утворення в приповерхневому шарі мікротріщин втоми. Після виходу тріщин на поверхню їх розвиток значно прискорюється розклинюється дією мастила. Поглиблення тріщини закінчується відколюванням шматочків металу і освітою ямок. Ямки поступово розширюються і перетворюються в раковини. Раковини спотворюють профіль зубів, порушують нормальну роботу зачеплення (посилюється динамічна навантаження, виникає небезпека поломки зубів). [2]

Підвищення контактної витривалості засноване на збільшенні опору поверхневого шару зубів розвитку пластичної деформації та його твердості.

**Витривалість зубів при згині** - здатність матеріалу протистояти втомній поломки зуба. Тріщина втоми, як правило, виникає біля основи зуба і поступово поширюється в тіло зуба. [2]

До зниження міцності зуба при вигині призводять залишкові напруження розтягування, що утворюються при шліфуванні западини. Негативний вплив роблять ризики, подряпини і інші концентратори напружень. [2]

**Опір зношування зубів** - Зношування виникає, головним чином, при відсутності або поганий мастилi. Якщо товщина масляного шару менше висоти мікронерівностей, то відбувається безпосереднє зіткнення окремих ділянок поверхонь зубів і їх зношування під впливом сил тертя. Швидкість зношування зростає із збільшенням тиску, швидкості ковзання, шорсткості поверхні і зменшення її твердості. Особливо значна швидкість зношування у відкритих

передачах, а також закритих, але недостатньо захищених від попадання абразивних частинок. Інтенсивне зношування викликає спотворення профілю зуба, істотне послаблення його ніжки, збільшення вірогідності поломки зуба.

Основні заходи попередження зношування - підвищення твердості і зниження шорсткості поверхні. [2]

**Опір заїдання.** Заїдання - адгезійне зношування - полягає в розвитку інтенсивного схоплювання чистих від олійних і оксидних плівок окремих ділянок контактуючих поверхонь. Адгезійне руйнування супроводжується вириванням частинок металу з їх перенесенням на поверхню спряженого зуба. Вирвані частинки повторно схоплюються, борознять тертьові поверхні і викликають їх швидке й інтенсивне руйнування. [2]

Основні заходи попередження заїдання - застосування теплостійких сталей з високою твердістю поверхні.

Для виготовлення зубчастих передач використовують сталі, чавуни, пластмаси та інші матеріали. Найбільш високу працездатність зубчастих передач забезпечують сталі, які є основним матеріалом для їх виготовлення. Рідше застосовують чавуни, бронзи і пластмаси. [9]

По міцності, особливо ударної в'язкості, чавуни значно уступають сталям, що компенсується збільшенням розмірів валів-шестерень. Для виготовлення коліс використовують сірі чавуни СЧ25, СЧ20, СЧ30, СЧ35, СЧ40; високоміцні чавуни ВЧ45-5, ВЧ50-2 та ін.

Для виготовлення деталей передавальних механізмів можна застосовувати пластмаси (текстоліт, капрон і ін) застосовують для коліс, які працюють на малих швидкостях і при малих ударних навантаженнях. Їх використовують для приводу спідометрів, кіноапаратів, текстильних машин. Переваги таких валів-шестерень - відсутність вібрації і шуму, висока вібро- і корозійна стійкість в агресивних середовищах, низький коефіцієнт тертя.

Матеріал і технологію термообробки (ТО) сталі призначають в залежності від умов роботи передачі і розмірів коліс[3].

Для підвищення втомної витривалості та зносостійкості необхідно підвищити твердість поверхні вала: об'ємне зміцнення, поверхневе зміцнення, хімічно-термічну обробку, пластичне деформування для створення залишкових напружень стиску на поверхні деталей.

Товщина дифузійного шару має дуже значний вплив на міцність (особливо на стійкість до втоми при вигині та на витривалість контакту). Ефективна товщина поверхневого шару повинна бути від 0,3 до 1,2 мм. [5]

Твердість серцевини, яка залежить від концентрації вуглецю в сталі, дуже сильно впливає на міцність поверхнево-загартованої сталі. Міцність поверхнево-загартованої сталі зростає із збільшенням вмісту вуглецю та твердості серцевини, але це збільшення не може бути безмежним, так як надмірно високий вміст вуглецю в серцевині порушує бажану послідовність мартенситного перетворення в серцевині та шарі. [4]

Міцність сталі з поверхневим зміцненням має великий (часто вирішальний) вплив на концентрацію вуглецю на поверхні. Оптимальний вміст вуглецю, що забезпечує максимальну стійкість до крихкого руйнування, становить 0,6-0,8%, втомна міцність при вигині досягає максимальних значень при 0,8-1,05% на поверхні, а максимальні значення контактної витривалості отримують при вуглеці. вміст у межах 1,0-1,25%. [16]

При високих концентраціях вуглецю ( $> 0,35\%$ ) в серцевині мартенситна точка зменшується, в результаті чого затвердіння можливе спочатку мартенситне перетворення в шарі, а потім і в серцевині, що зменшує залишкові напруги стискання на поверхні, а отже, і знижує втомну міцність. Крім того, зі збільшенням концентрації вуглецю в серцевині в'язкість сталі зменшується. У зв'язку з цим за результатами експериментальних досліджень у сталях з поверхневим зміцненням рекомендований вміст вуглецю не вище 0,30%, а оптимальні значення твердості серцевини після хімічної термічної обробки повинні бути в межах НКР 24-32. [22]

Довговічність експлуатації виробів з таких сталей також залежать від структури шару і серцевини, що утворилися в результаті повного циклу хіміко-термічної обробки. У зв'язку з потребою забезпечення поверхневої твердості НРС 59-63 структура шару має складатися в основному з тонкоголкового мартенситу з невеликими ізольованими ділянками залишкового аустеніту. Виділення карбідів у вигляді сітки по кордонах зерен абсолютно неприпустимо, оскільки крихкість різко зростає. Також небажано відбирати у значній кількості ізольовані карбіди, видимі при збільшенні  $\times 100$ , оскільки в такому вигляді вони знижують в'язкість зцементованої сталі, особливо в кутах і торцях деталей. Вміст залишкового аустеніту в шарі не повинен перевищувати 15-20%. [23]

Однак при високих значеннях міцності на розрив, міцності на вигин, контактної міцності необхідно забезпечити задовільну в'язкість. Тому сталі повинні бути спадковими дрібнозернистими (6-8 балів). Крім того, використання дрібнозернистих сталей повинно дозволяти використовувати найбільш ефективний режим термічної обробки. [5]

Отже, для отримання високої міцності валів необхідно підтримувати у вузькому діапазоні ряд параметрів, що характеризують структуру та властивості шару і серцевини. [22]

Сталі також повинні добре оброблятися різанням, тому попередня термообробка повинна забезпечувати оптимальну мікроструктуру. При незадовільній мікроструктурі заготовки погіршується якість робочої поверхні, а внутрішні напруження, виникаючі в процесі різання, підвищують деформацію виробів при подальшій хімічній і термічній обробці. [13]

Вал повинен мати високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, підвищену контактну міцність, а також в'язку, м'яку серцевину, щоб гасити різні напруги діючі на деталь у процесі експлуатації.

## Висновки

Деталь виготовляється із заготовки «штампування». Наступним етапом виготовлення деталі і поліпшення її характеристик є хімічна і термічна обробка. Завдяки яким ми отримаємо потрібні нам характеристики деталі.

Серед запропонованих технологій, які відповідають сучасним вимогам, є іонно-плазмове термоциклічне азотування (ШТА) та цементація виробу. Вони є ефективними методами зміцнення хіміко-термічної обробки деталей із: легуваних конструкційних сталей (шестерні, зубчасті колеса, конічні шестерні, конічні шестерні, вали-шестерні, шнеки екструдера, вали, прямі зуби, форми, муфти складної геометричної конфігурації тощо.).

На основі традиційних методів термічної обробки запропоновані технології використання газоподібного середовища, в якому відсутній аміак, виключено водне окрихлення поверхні, технології дозволяють зміцнити відповідну ділянку деталей.

З огляду на перераховані вище методи термічної обробки та технологічно-економічних факторів, пропоную цементацію, як метод хімічного та термічного поліпшення деталей.



## РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

### 3.1 Обґрунтування вибору матеріалу та опис впливу легувальних елементів

Довговічність і надійність деталі залежить від матеріалу і його конструкційної міцності. Підвищення експлуатаційних характеристик деталі досягається шляхом правильного вибору марки сталі.

Матеріал для вал-шестерні вибирається з урахуванням таких пунктів:

- 1) Умов експлуатації деталі.
- 2) Механічних властивостей.
- 3) Економічних міркувань.
- 4) Технологічних і структурних особливостей.
- 5) Особливостей конструкції.

Вали-шестерні широко використовуються в приводних механізмах і коробках передач у різних галузях промисловості. При застосуванні у важкому машинобудуванні необхідне виготовлення вал-шестерень з високою точністю. Точність передач дозволяє визначити плавність і точність всього механізму, тому всі параметри передач мають строгі регламенти

В залежності від твердості поверхні шестерень застосовуються сталі діляться на дві групи.

Першу групу утворюють середньовуглецеві покращувані і нормалізовані сталі з вмістом вуглецю до 0,50%: 40, 45, 50, 40X, 45X, 40XH, 35XГСА, 40XФА, 35ХМА, БСт5, БСт6 та ін. Вони значно уступають сталям другої групи по навантажувальній здатності, але перевершують їх по технологічності. Крім того, вони не схильні до крихкого руйнування при динамічних навантаженнях.

Покращувані сталі застосовують для мало - і середньонавантажених передач при відсутності жорстких вимог до їх габаритів.

Сталі, що використовуються в нормалізованому стані, переважно

застосовують для валів-шестерень у допоміжних галузях, наприклад, в механізмах ручного управління [6].

Другу групу утворюють низьковуглецеві сталі (до 0,3% C), що піддаються цементації, нітроцементації, азотування і середньовуглецеві (до 0,5% C) зміцнюються поверхневим загартуванням.

Однак ці сталі більш складні в технологічному відношенні, тому що вимагають нарізання зубів до термічної обробки. Термічна обробка викликає значні зміни розмірів деталей, викривлення зубів, для усунення яких потрібні додаткові операції механічної обробки (шліфування, притирання, обкатка і ін). Сталі цієї групи переважно використовують в умовах великосерійного і масового виробництва. [22]

Сталі, застосовуються з зміцненням поверхні деталей цементацією і нітроцементацією, забезпечують найбільш високу контактну витривалість, а також міцність зубців при вигині і опорі заїдання. Їх застосовують для виробів, у яких маса і габарити передач мають вирішальне значення. Це сталі: 10, 15, 20, 15ХФ, 20Х, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 18ХНВА, 20ХНЗА, 18Х2Н4ВА, 20ХНР, АС14ХГН, АС20ХГНМ та ін. [22]

Властивість дифузійного шару і серцевини впливає на працездатність зубчастих передач. Властивості дифузійного шару визначаються вмістом у ньому вуглецю або вуглецю + азоту; наявністю в поверхневих шарах кількості цементиту, залишкового аустеніту, а при нітроцементації - карбонітридів, що містяться в мартенситі. [7]

Легуючі елементи надають непрямий вплив, змінюючи в шарі вміст вуглецю, утворюючи карбіди або карбонітриди (Cr, W, Mo, V, Ti та ін). Присутність легуючих елементів сприятливо позначається також і на інтенсивність науглецювання. Некарбідоутворюючі елементи (Ni, Si, та ін), навпаки, знижують ступінь науглецювання, чим зменшують окрихчування сталі, підвищуючи її значення ударної в'язкості, знижуючи поріг холодноламкості [8].

Твердість поверхні цих сталей на готовому виробі становить HRC 5-63.

При постійній твердості поверхні контактна витривалість зростає із збільшенням товщини зміцненого шару та твердості серцевини.

Таблиця 3.1 – Пропоновані матеріали

Деталь	№	Марки сплавів	№	Марки сплавів
Вал-шестерня	1	40ХН	7	12Х2Н4А
	2	4Х5МФС	8	08Х19Н10Т
	3	08ГДНФ	9	ПЖВ-1
	4	ХВГ	10	ЛМцА 57-3-1
	5	50ХФА	11	
	6	ШХ15	12	

1. 40ХН - конструкційна низьколегована якісна термічно поліпшувана сталь, що містить 0,4% вуглецю, по 1% хрому та нікелю, решта залізо та домішки.

2. 4Х5МФС – інструментальна штампова середньо легована сталь, що містить 0,4% вуглецю, 5% хрому, по 1% молібдену, ванадію та кремнію, решта залізо та домішки.

3. 08ГДНФ – конструкційна низьколегована сталь, що містить 0,08% вуглецю, по 1 % марганцю, міді, нікелю та ванадію, решта залізо та домішки.

4. ХВГ- сталь інструментальна; 1 % вуглецю; 1 % хрому, 1 % вольфрама і 1 % марганцю; низьколегована; високовуглецева; інше залізо і домішки.

5. 50ХФА – конструкційна, низьколегована, високоякісна, хромованадієва сталь, 0,50 % вуглецю, 1 % хрому і 1 % ванадію, середньовуглецева; інше залізо і домішки

6. ШХ15– сталь шарикопідшипникова, 1 % вуглецю, 1,5 % хрому, низьколегована; інше залізо і домішки.

7. 12Х2Н4А – конструкційна легована сталь, 0,12 % вуглецю, 2 % хрому, 4 % нікелю, відноситься до цементуємої низьколегованої сталі високої якості, середньовуглецева; інше залізо і домішки.

8. 08X19H10T – конструкційна легована сталь, 0,08 % вуглецю, 19 % хрому, 10 % нікелю, 1 % титану, відноситься до низьковуглецевої високолегованої сталі; нержавіюча та корозійностійка; інше залізо і домішки.

9. ПЖВ-1 – порошок залізний, отриманий методом відновлення, №1.

10. ЛМЦА 57-3-1 – деформівна латунь, легована 1% алюмінію, 3% марганцю, 57% міді, решта цинк та домішки.

Серед запропонованих матеріалів для виготовлення валу-шестерні з урахуванням вказаних вимог підходить сталь 12Х2Н4А. Ця сталь має високу поверхневу твердість після ХТО та чинить опір ударним навантаженням. Хімічний склад сталі приведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сталі 12Х2Н4А

Хімічний елемент	%
Кремній (Si)	0.17-0.37
Мідь (Cu), не більше	0.30
Марганець (Mn)	0.30-0.60
Нікель (Ni)	3.25-3.65
Фосфор (P), не більше	0.025
Хром (Cr)	1.25-1.62
Сірка (S), не більше	0.025

Сталь 12Х2Н4А застосовується для виготовлення великих відповідальних деталей. Вироби зі сталі піддаються цементації з подальшою термічною обробкою, іноді ця сталь застосовується для нецементуємих деталей. Сталь з високими міцністю, в'язкістю і прогартовуваністю. [7]

З сталі 12Х2Н4А виготовляють шестерні, осі, вали, черв'яки, кулачкові муфти, поршневі пальці і інші деталі.

Таблиця 3.3 – Температура критичних точок

Критична точка	° C
Ac <sub>1</sub>	745
Ac <sub>3</sub>	800
Ar <sub>3</sub>	675
Ar <sub>1</sub>	625
Mn	438

Таблиця 3.4 – Механічні властивості при T = 20 °C

Термообробка, стан поставки	Перетин, мм	σ <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>B</sub> , МПа	σ <sub>5</sub> , %	ε, %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ	НRC e
Загартування 860 °C, масло. Загартування 760-800 °C, масло. Відпустка 180 °C, повітря або масло.	15	930	1130	10	50	88		
Цементация 920-950 °C. Загартування 780-800 °C, масло. Відпустка 180-200 °C.	60	950	1200	10	50	80	255-302	59-63

Сталь 12X2H4A містить в середньому 0,12% вуглецю, X - вказує вміст хрому в сталі приблизно 2%, H3 - вказує вміст нікелю в сталі близько 4%, буква A в кінці марки означає, що сталь відноситься до категорії високоякісної.

Хром є легуючим елементом та широко застосовується для легування. Вміст хрому в конструкційних сталях становить 0,7 - 1,1%. Присадка хрому, що утворює карбіди, забезпечує високу твердість і міцність сталі. [7]

Хромисті сталі з низьким вмістом вуглецю піддають цементации з подальшою термічною обробкою, а із середнім і високим вмістом вуглецю - поліпшенню (гартування і високому відпуску). Хромисті сталі мають гарну прогартуваність. Недоліком хромистих сталей є їх схильність до відпускнуї крихкості другого роду[7].

Після гартування і цементації виходить тверда і зносостійка поверхня і підвищена, якщо порівняти з вуглецевою сталлю, міцність серцевини. Такі сталі застосовуються для виготовлення деталей, працюючих при великих швидкостях ковзання і середніх тисках (для зубчастих коліс, кулачкових муфт, поршневих пальців і т.п.).

### Вплив легувальних елементів

**Вуглець (С).** З ростом вмісту вуглецю в структурі сталі збільшується кількість цементиту, при одночасному зниженні частки фериту. Зміна співвідношення між складовими приводить до зменшення пластичності, а також до підвищення міцності і твердості. Міцність підвищується до змісту вуглецю близько 1%, а потім вона зменшується, через утворення грубої сітки вторинного цементиту. [8]

Вуглець впливає на властивості в'язкості. Збільшення вмісту вуглецю підвищує поріг холодноломкості і знижує ударну в'язкість. Підвищуються електроопір і коерцитивна сила, знижуються магнітна проникність і щільність магнітної індукції. Вуглець впливає і на технологічні властивості.

Підвищення вмісту вуглецю погіршує ливарні властивості сталі (використовуються сталі з вмістом вуглецю до 0,4%), оброблюваність тиском і різанням, зварюваність. Також маємо враховувати, що сталі з низьким вмістом вуглецю також погано обробляються різанням. [8]

Крім впливу основних елементів, необхідно враховувати також присутність в сталі кремнію, титану та алюмінію, що сприяють утворенню фериту.

**Хром(Cr).** Хром сприяє одержанню високої і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноломкості хромистих сталей 0 – 100 °С. Розчинність у фериті цього елемента необмежена. Розчинність в аустеніті становить 12,8 %. Хром підвищує міцність, твердість, коерцитивну силу фериту. Знижує ударну в'язкість, магнітну індукцію і магнітну проникність. Хром утворює карбіди  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  і  $\text{Cr}_4\text{C}_3$ . Хром

підвищує точку  $A_1$  і знижує точки  $A_3$  і  $A_4$ . Зміщує точку  $S$  вліво. Також цей елемент знижує схильність зерна до росту, дуже збільшує прогартовуваність. [3]

Хром дає дві зони найменшій стійкості аустеніту при 700–300 і 400–250 °С. Зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку  $M_n$  і збільшує кількість залишкового аустеніту. Хром значно підвищує стійкість проти корозії та окиснення, дуже збільшує зносостійкість і жаростійкість.

**Нікель (Ni).** Розчинність у фериті – 5% при 700 °С і 10% при 400 °С; розчинність в аустеніті – не обмежена. Вплив нікелю на властивості фериту підвищує міцність, твердість, пластичність, питомий електроопір і коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність. Підвищує ударну в'язкість при вмісті нікелю до 2%. Не має схильності до карбідоутворення. Вплив на властивості аустеніту знижує точки  $A_1$  і  $A_3$  і підвищує  $A_4$ , зміщує точку  $S$  вліво, дещо впливає на зменшення схильності до росту зерна. Дещо збільшує прогартовуваність, зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку  $M_n$ , збільшує кількість залишкового аустеніту. Нікель у сталі разом із хромом підвищує прогартовуваність. Також нікель підвищує в'язкісні характеристики сталі. Нікель підвищує стійкість в агресивних середовищах, впливає на поліморфізм заліза, збільшує температурний інтервал між критичними точками  $A_3$  і  $A_4$ . [8]

**Марганець** в невеликих кількостях може переводити сірку в більш сприятливе з'єднання. [3]

**Сірка** є шкідливою домішкою, що сприяє красноламкості. У ледебуритних сталях негативна роль утворюються сульфідів менше з-за присутності в структурі значно більшого числа надлишкових карбідів, які можуть погіршувати ці властивості. Крім того, сульфіди при низьких температурах початку затвердіння цих сталей часто служать центрами кристалізації і присутні всередині великих евтектичних карбідів. Їх кількість зменшується на межі зерен. Для зменшення кількості сірки (до 0,015 %) використовують електрошлаковий переплав. [8]

**Фосфор** також є шкідливою домішкою. При вмісті фосфору більше ніж 0,02–0,03 % помітно знижується в'язкість і міцність, посилюються спотворення в

решітці мартенситу. [3]

### 3.2 Методи дослідження

Контроль технологічного процесу використовується для контролю якості деталей під час їх виробництва. Головна мета контролю це виявлення відхилень процесу, що впливають на якість. Класифікація дефектів дозволяє правильно вибрати технологічні процеси виготовлення деталей. Найважливішим елементом контролю будь-якого технологічного процесу термічної обробки є температурний контроль. Цьому виду контролю слід приділяти увагу, оскільки основний обсяг дефекту термічної обробки залежить від недотримання температурного режиму[18].

На останньому етапі деталі дефектують для оцінки якості та встановлюють:

- зміни розмірів і геометричної форми деталей;
- наявність поверхневих та внутрішніх дефектів;
- залишкових деформацій у вигляді вигину, перекосу;
- зміни фізико- механічних характеристик в результаті впливу температури.

[5]

Контроль технологічного процесу полягає в строгому дотриманні режиму цементації і термічної обробки, а саме:

- Контроль температури (термопара).
- Контроль тиску в камері для цементації (монометр).
- Контроль рівня масла в гартівному баку.
- Контроль витрати газів і склад атмосфери (газоаналізатор ТП 2220). [9]

При контролі якості цементованих деталей перевіряють:

– Товщину шару. Її зазвичай визначають на зразках - свідках, виготовлених з тієї ж сталі та підданих цементації та термічної обробки за тими ж режимами, що й деталі. Товщину шару оцінюють за твердістю або мікроструктурою.

–Твердість поверхні та серцевини, а також розподіл твердості по шару.

Вимірювання твердості проводять у потоці обробці деталей.



–Мікроструктуру перевіряють у лабораторії на шліфах, виготовлених із цементованих деталей або зразків - свідків. У цементованому шарі визначають дисперсність мартенситу, наявність та розташування карбідів, залишковий аустеніт та дефекти шару.

В процесі виробництва контролюють:

1. Твердість поверхні (твердомір). (рис 3.1).



Рисунок 3.1 – Твердомір [10]



2. Відсутність тріщин (дефектоскоп) (рис 3.2)

Рисунок 3.2 – Дефектоскоп [11]

### 3.2.1 Макро та мікро аналізи

Макроструктура будь-якого металу чи сплаву — це структура, видима неозброєним оком або при невеликому збільшенні[13]. Макроструктуру досліджують за:

- зламом
- розрізом злитка
- за допомогою макророзрізів.

У такий спосіб визначають розмір зерна, його форму, структуру волокна, а також видимі дефекти: пористість, усадку оболонок, бульбашки газу, тріщини, неметалічні включення. Макрошліфування виготовляють так: з досліджуваного матеріалу вирізають зразок, одну з його поверхонь шліфують і полірують, потім цю поверхню протравлюють спеціальними реактивами (сірчаною, соляною та іншими кислотами), після чого розглядають[13].

Мікроструктура — це структура металу або сплаву, видима при великому збільшенні. Для вивчення мікроструктури використовується металографічні мікроскопи, а також електронні мікроскопи, що дають збільшення до 100 000 разів.

Зразки (мікрошліфи) після їх виготовлення (шліфування та полірування), протравлюють. Для травлення чавуну і сталі використовується 4% розчин азотної кислоти в спирті; для травлення алюмінієвих сплавів - 0,5% розчин фтористої кислоти у воді. [24]

Деякі структурні компоненти розчиняються реактивом: одні сильніші, інші слабші, тому під мікроскопом відбувається різне відбиття світла від більш і менш протравлених частинок структури; одні здаються темними, інші світлими. Від якості виготовленого перетину залежить точність конструкції конструкції. [24]

Мікроаналіз дозволяє визначити розмір і форму найдрібніших зерен, якість термічної обробки, а також виявити дрібні дефекти металу або сплаву [13].

### 3.2.2 Визначення твердості та мікротвердості

У властивості металів і сплавів найбільше значення мають механічні властивості, що характеризують здатність металів і сплавів протистояти деформації та руйнуванню під дією зовнішніх сил. Основними механічними властивостями металів і сплавів є твердість, міцність, пластичність, в'язкість.

Твердість характеризується здатністю металу протистояти значній пластичній деформації при контактному навантаженні. Випробування на твердість завжди проводять безпосередньо на поверхні виробу або деталі шляхом механічного вдавлювання в метал іншого твердішого тіла (індентора). [24]

Кожен метод визначення твердості полягає у вдавлюванні робочого тіла (індентора) в плоску поверхню досліджуваного матеріалу зразка або деталі. Сила навантаження на індентор залежить від властивостей матеріалу, товщини, розміру прототипу та інших факторів.

Через велику кількість властивостей різних матеріалів на практиці використовуються різні методи визначення твердості. В одних методах індентор являє собою кульку (метод Брінеля), в інших — алмазний конус (метод Роквелла) або алмазну піраміду (метод Віккерса, мікротвердість). [24]

Вимірювання твердості, як метод дослідження механічних властивостей металів, як результат простоти і швидкості твердості, а також можливості оцінити властивості металів без руйнування виробів, знайшов широке застосування на заводах і в наукових науково-освітні установи. Метод визначення твердості також є цінним, оскільки існує чітко визначений зв'язок між твердістю матеріалу та його межею текучості та межею текучості [14].

## Висновки

Вали-шестерні широко використовуються в приводних механізмах і коробках передач у різних галузях промисловості. Підвищення експлуатаційних якостей виробу досягається правильним вибором марки сталі. Підвищення експлуатаційних характеристик виробу досягається шляхом правильного вибору марки сталі.

Виходячи з умов експлуатації та технічних вимог була обрана сталь 12Х2Н4А. Сталь 12Х2Н4А застосовується для виготовлення великих відповідальних деталей. Вміст хрому і нікелю забезпечує деталі максимальну прочність і тривалий експлуатаційний період. Вироби зі сталі піддаються цементації з подальшою термічною обробкою, іноді ця сталь застосовується для нецементуємих деталей.

З сталі 12Х2Н4А виготовляють шестерні, осі, вали, черв'яки, кулачкові муфти, поршневі пальці і інші деталі. Після цементації і гартування отримуємо тверду і зносостійку поверхню та міцну, в'язку серцевину.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 4.1 Отримання заготовки вал-шестерня

Вибрати заготовку означає обрати спосіб її виготовлення, розрахувати розміри, визначити припуски та допуски, створити технічні умови для її виготовлення, тобто визначити її технологічність.. При виборі способу виготовлення заготовки для деталі вал-шестерня треба, щоб форма і розміри заготовок були максимально наближені до форми і розміру готової деталі.

Під технологічністю деталі можна розуміти зручність її конструкції, технічних вимог, розмірів та їх допусків для застосування типового обладнання, оснащення, інструменту, технологічних баз.

Метод отримання заготовки визначається розмірами завдання, матеріалом деталі, її призначенням та технічними вимогами на виготовлення, формою поверхні та розмірами. При виборі заготовок для деталі призначаємо методи отримання певних конфігурацій, розмірів, допусків, припусків на обробку та створюємо технічні умови для її виготовлення.[12].

Робоче креслення містить всю необхідну інформацію, яка дає повну інформацію про деталь, тобто всі необхідні проекції, перерізи які абсолютно точно пояснюють його конфігурацію та можливі способи виготовлення деталі «вал-шестерня».

Деталь має раціональну форму, що дозволяє використовувати високопродуктивні методи виробництва та обробки. Деталь має зручні центрувальні отвори . Деталь вал-шестерня виготовляється зі сталі 12Х2Н4А.[2]

У нашому випадку заготовку доречно отримувати гарячим об'ємним штампуванням у відкриті штампи. Такому штампуванню характерно, що після заповнення порожнини штампованого струму металом, облой витісняється в облійні канавки і сприяє повному заповненню струмка. При подальшій обробці

поковки облой видаляється спеціальними штампами. [15]

Заготовка для деталі «шестерні» являє собою поковку, отриману на кривошипних пресах. Таке штампування на кривошипних пресах має ККД в 2-3 рази краще, припуски і допуски нижчі на 20-35%, якщо порівняти з штампуванням молотом, краще точність та витрата металу на поковки значно зменшується[15].

Основні операції технологічного процесу для виготовлення поковок з використанням гарячих штамів:

- 1) Нарізання прутків на мірні заготовки.
- 2) Нагрівання.
- 3) Штампування.
- 4) Обрізка облоя.
- 5) Термообробка.
- 6) Очищення від окалини.
- 7) Калібрування.

Штампування доречно проводити з використанням пресу, так як це дозволяє отримати більш технологічні заготовки. Заготовки виготовлені таким способом мають краще точність, завдяки відсутності ударних навантажень знижується ймовірність зсуву штамів відносно один одного. Вертикальний штамп має в нижній точці, виштовхувач заготовок (прес), що дозволяє зменшити ухили штампування, також це дозволяє зменшити припуски на обробку. Також у преса вище продуктивність порівняно з молотом у два рази за рахунок одного удару на кожному струмку. [15]

#### **4.2 Процес обробки валу-шестерні**

Технологія виготовлення вал-шестерні має технологічний процес виготовлення такий самий, як деталі класу вал. Вся обробка розподіляється за операціями, дотримуючись таких правил.

На перших операціях технологічного процесу за основні технологічні основи приймаються центрові гнізда та торці, спочатку обробляються вони, потім решта поверхонь у послідовності покращення точності. Завершуємо виготовлення деталі обробкою найбільш точною поверхнею, яка має головне значення для деталі. Технологічний контроль проводять після складних операцій, тобто після тих етапів, на яких є ймовірність збільшення кількості дефектів. При проектуванні маршрутної обробки деталі вибираємо обладнання, ріжучий і вимірювальний інструмент для кожного етапу окремо. [5]

Результатом тривалої витримки при високій температурі цементації є перегрів, під час якого зростає зерно. Щоб отримати високу твердість цементованого шару і високі механічні властивості серцевини та для отримання в поверхневому шарі дрібноголчастого мартенситу після цементування деталей піддають подальшій термічній обробці. В результаті цементації поверхневий шар деталей карбонізується (0,8 - 1% C), а в серцевині залишається 0,12 - 0,32% C, тобто виходить двошаровий метал. [7]

Після цементації деталь механічно оброблюють. Основна мета гартування сталі — отримання високої твердості та міцності в результаті утворення нерівноважних структур — мартенситу, тростита, сорбіту. Заевтектоїдна сталь нагрівається над точкою  $A_{C1}$  на 30 - 90 °C. Нагрівання евтектоїдної сталі вище точки  $A_{C1}$  здійснюється для того, щоб зберегти в структурі загартованої сталі цементит, який є ще більш твердим компонентом, ніж мартенсит (температура заевтектоїдних сталей постійна і дорівнює 760 - 780 °C). [7]

Для зняття внутрішніх напруг проводять низький відпуск при 180-200°C. Після такого режиму термічної обробки структура поверхневого шару — дрібноголчастий мартенсит з вкрапленнями надлишкового цементиту, а серцевини-дрібнозернистий ферит + перліт [16]. Після відпуску проводиться фінішна механічна обробка деталі та доводка.

Таблиця 4.1 – Схема маршрутної технології отримання заготовки і виготовлення деталі вал-шестерня

№	Найменування переходу (операції)	Устаткування, матеріали	Призначення операції
1.	Видобувна	Кар'єри, шахти. Видобувне обладнання.	Видобування корисних копалин, вугілля
2.	Металургійна	Доменна піч. Руда, агломерат, кокс, флюс тощо	Отримання в доменній печі з руди переробного білого чавуну.
3.	Сталеплавильна	Конверторна піч. Переробний чавун. Руда, агломерат, кокс, флюс тощо	Переробка чавуну на сталь у конвертерній печі.
4.	Сталеплавильна	Електродугова піч. Сталь. Руда, агломерат, кокс, флюс, феросплави тощо	Доведення хімічного складу сталі у електродуговій печі.
5.	Розливання сталі	Установка безперервного розливання	Розливання сталі на блюм безперервним способом з одночасним обтисканням
6.	Розділова	Установка флюсового різання	Розрізання блюму на мірні заготовки
7.	Прокатна	Прокатний стан, калібровані валки	Гаряча прокатка блюму на сортовому стані з каліброваними валками - за декілька пропусків. Отримання профілю круг.
8.	Термічна. Нагрівання.	Камерна піч	Нагрівання прокату для кування.
9.	Ковальська	Гідравлічний прес з фігурними бойками	Вільне кування на круг на пресі – отримання заготовки (поковки).
10.	Попередня термообробка – нормалізація	Шахтна піч	Для зняття внутрішніх напружень, підготовка структури для подальшої механічної обробки
11.	Механічна обробка (МО)	Верстати і інструменти	Процес обробки поверхні матеріалу за допомогою інструментів та верстатів для створення виробу із заданими розмірами
12.	Цементація	Цементацийна піч	Для отримання поєднання властивостей твердої зносостійкої поверхні та в'язкої
13.	Гартування	Шахтна піч	



14.	Обробка холодом	Установка обробки холодом	дрібнозернистої серцевини без залишкового аустеніту
15.	Низькотемпературний відпуск	Шахтна піч	
16.	Контроль властивостей: твердості і структури	Твердомір Роквелла (ТК), мікроскоп МИМ-7	З метою контролю необхідної структури та твердості поверхонь

САНД

## Висновки

Технічні властивості матеріалу, програма виробництва, форма і розміри деталі визначають процес отримання заготовки.

Робоче креслення містить всю необхідну інформацію, яка дає повну інформацію про деталь, тобто всі необхідні проекції, перерізи які абсолютно точно пояснюють його конфігурацію та можливі способи виготовлення деталі «вал-шестерня».

Штапування доречно проводити з використанням пресу, так як це дозволяє отримати більш технологічні заготовки. Заготовки виготовлені таким способом мають краще точність, завдяки відсутності ударних навантажень знижується ймовірність зсуву штампів відносно один одного. Вертикальний штамп має в нижній точці, виштовхувач заготовок (прес), що дозволяє зменшити ухили штапування, також це дозволяє зменшити припуски на обробку. Також у преса вище продуктивність порівняно з молотом у два рази за рахунок одного удару на кожному струмку. [15]

Деталь має раціональну форму, це дозволяє використовувати високопродуктивні методи виробництва та обробки. Деталь має зручні центральні отвори. Деталь вал-шестерня виготовляється зі сталі 12Х2Н4А.[2]

На перших операціях технологічного процесу за основні технологічні основи приймаються центрові гнізда та торці, спочатку обробляються вони, потім решта поверхонь у послідовності покращення точності. Завершуємо виготовлення деталі обробкою найбільш точною поверхнею, яка має головне значення для деталі.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТНА ЧАСТИНА

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

Термічну обробку застосовують на різних стадіях виробництва деталей машин і металовиробів. Термічна обробка є дуже корисною у виробництві, вона може бути проміжним етапом та служити для поліпшення оброблюваності напівфабрикатів тиском, різанням, або навпаки може бути кінцевим етапом у виробництві та забезпечувати необхідні механічні і фізичні властивості виробів. Напівфабрикати піддають термічній обробці для поліпшення структури, зниження твердості та як результат поліпшення оброблюваності, а деталі - для додання їм властивостей (твердість, зносостійкість, міцність та ін.). [15]

Термічною обробкою властивості сплавів можна змінювати у широкому діапазоні. Можливість значного підвищення механічних властивостей після термічної обробки у порівнянні з вихідним станом дозволяє збільшити допустимі напруження, зменшити розміри, масу машин і механізмів, підвищити надійність і термін служби виробів. Поліпшення властивостей в результаті термічної обробки дозволяє застосовувати сплави більш простих складів, які є більш дешеві. Також сплави можуть набувати нові властивості, що розширює сферу їх застосування.

Виходячи з вищесказаного, умов роботи, експлуатації і вимог, що пред'являються до деталі, я призначаю такий режим термічної обробки:

1. Повний відпал;
2. Цементация;
3. Нормалізація;
4. Гартування;
5. Обробка холодом;
6. Низький відпуск.
7. Графік ТО для деталі наведено на рисунку 5.

Попередньою термічною обробкою сталі 12Х2Н4А є повний відпал, температура якого знаходиться в інтервалі 850 - 900°C, потім йде витримка при цій температурі і охолодження разом з піччю до 500°C з метою отримання однорідної структури з назькою твердістю, для облегшення наступної термічної обробки. Після відпуску отримуємо структуру П+Ф.

Після відпуску проводять механічну обробку, знімають припуски та отримують необхідну конфігурацію виробу. [7]

Для поверхневого зміцнення зубців застосовуємо цементацію в газовому середовищі, що має високу продуктивність в умовах серійного виробництва. Метою цементації є одержання твердої зносостійкої поверхні та міцної в'язкої серцевини. Виріб після такої цементації здатен витримувати високі навантаження та чинити опір зношуванню. Твердість поверхневого цементованого шару досягає 750 НВ. Цементування зазнають вироби з маловуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю 0,15...0,35 %. Наприклад такі деталі, як поршневі пальці, зубчасті колеса, розподільні вали. [7]

Розрізняють цементацію в твердому, рідинному і газоподібному карбюризаторах (вуглецевмісних сумішах).

Газову цементацію здійснюють у спеціальних камерах, де містяться нагріті до температури 920... 950 °С деталі, крізь які безперервно з певною швидкістю пропускають цементуючий газ. Для цього використовують природний газ, основною частиною якого є  $\text{CH}_4$ . Проходять такі реакції:  $\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + [\text{C}]_{\text{диф}}$ .

Газова цементація легко механізувати й автоматизувати. Цементація — процес дифузійний, тому концентрація вуглецю в поверхневому шарі цементованих виробів змінюється. У зв'язку з цим поступово змінюється й структура поверхневого шару від перлітної до феритно-перлітної зі зменшенням кількості перліту (рис. 4). [7]

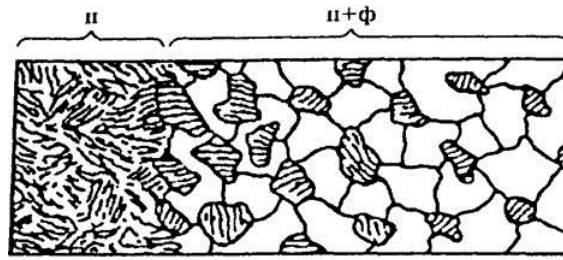


Рисунок 5.1 – Зміна структури при цементації

Всі шестерні після термічної обробки очищаються від окалини в дробоструминній установці і проходять контроль твердості по зубу на приладах Роквелла, із застосуванням спеціально спроектованих і виготовлених на заводі, призм.

Для отримання потрібної структури і властивостей поверхневого шару і серцевини проводять подвійне загартування або нормалізацію і загартування.

Для отримання необхідної структури серцевини застосовують нормалізацію. Вона полягає в нагріванні доєвтектоїдної сталі до температури, що перевищує точку  $A_{c3}$  на  $50^{\circ}\text{C}$ , а евтектоїдної сталі вище  $A_{cm}$  також на  $50^{\circ}\text{C}$ , нетривалої витримці для прогріву садки і завершення фазових перетворень і охолоджень на повітрі. Нормалізація викликає повну фазову перекристалізацію сталі і усуває грубозернисту структуру, отриману після попередньої термічної обробки. [5]

Прискорене охолодження на повітрі призводить до розпаду аустеніту при більш низьких температурах, що підвищує дисперсність феритної-цементитної структури і збільшує кількість перліту. Це підвищує на 10-15% міцність і твердість нормалізованої середньо і високовуглецевої сталі в порівнянні з відпаленою. [5]

Для конкретної деталі (шестерні) нормалізація проходить при температурі  $850-880^{\circ}\text{C}$  з наступним охолодженням на повітрі.

Мета гартування – отримання сталі з високими твердістю, міцністю, зносостійкістю і іншими важливими властивостями, підвищують експлуатаційну надійність і довговічність оброблюваних деталей та інструменту. Загартування здійснюють з витримкою 15-20 хвилин, при температурі  $780-800^{\circ}\text{C}$ , після чого -

охладжуючу в маслі. [5]

При нагріванні до температури гартування весь вуглець розчиняється в залізі і отримує розчин вуглець в залізі з ГЦК решіткою, так званий аустеніт. Потім швидко охолоджуємо, тим самим не додаючи час на дифузію. В результаті ми отримуємо не суміш фериту і перліту, а нову структуру - мартенсит. Мартенсит - це нова фаза з ОЦК решіткою, яка утворюється у вигляді пластин. Сталь після гарту отримує тверду, але крихку, так як поява мартенситу створює внутрішнє напруження[18].

Проте зниження мартенситних точок внаслідок легування викликає утворення в структурі деякої кількості залишкового аустеніту, його усувають обробкою холодом, чому необхідно проводити ж після гартування, доки залишковий не встиг стабілізуватися. Обробка холодом здійснюється в спеціальному режимі камери при температурі 70°C.

Для наступного зміцнення, утворених гартуванням деталей низький відпуск.

Відпуск при 180-200 °C і подальшим охолодженням на спокійному повітрі. При цьому зменшується напруга в металі, збільшується його міцність і дещо покращується в значній нестабільності сталі. Загартована сталь характеризується високою зносостійкістю. Тривалість відпуску 6 год. [18].

Графік термічної обробки наведено у ДОДАТОК В.

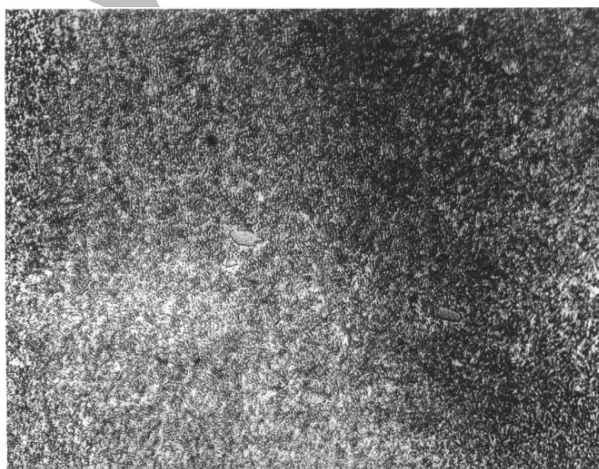


Рисунок 5.2 Мікроструктура серцевини сталі 12X2H4A після гартування

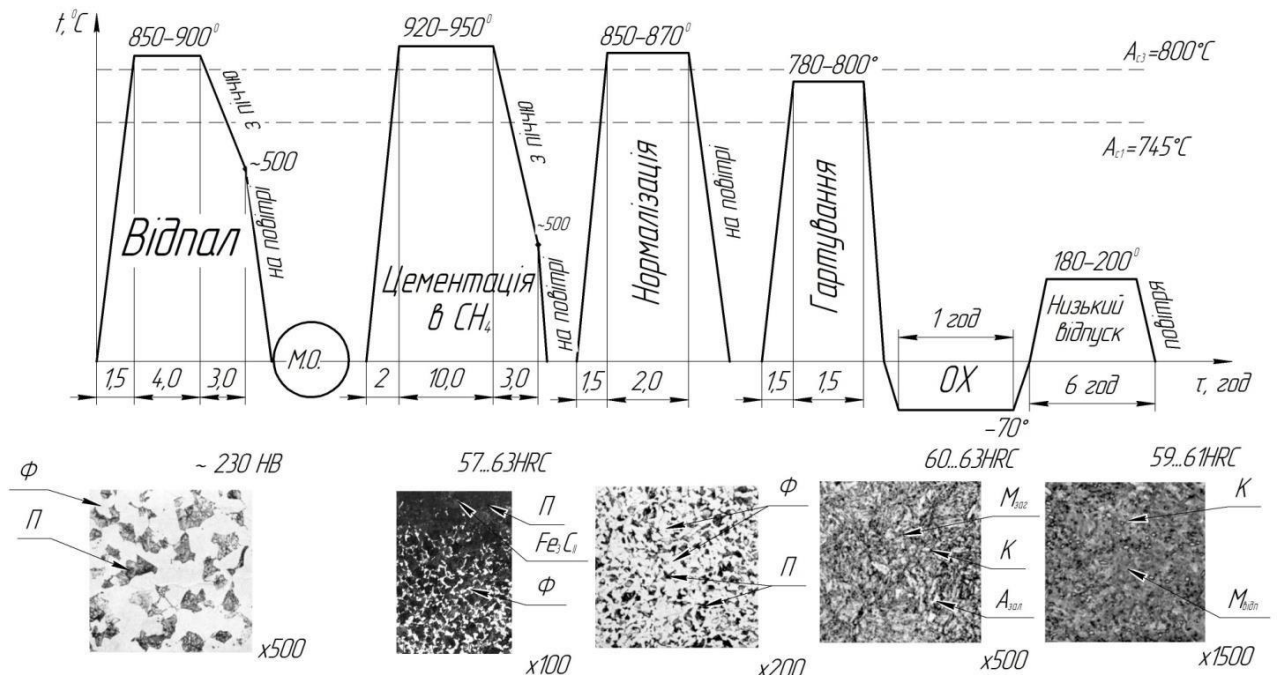


Рисунок 5.3 – Графік термічної обробки 12X2H4A

## 5.2 Вибір обладнання для операцій термічної обробки

Основним обладнанням, що встановлюється в цехах, є камерні печі, печі з висувним подом або штовхальні печі. Для використання тепла куваленого нагріву при термообробці, поковок (і штампувань застосовують механізовані агрегати. Вибір типу обладнання визначається характером виробництва. Розрізняють одиничне, серійне та масове виробництво. [21]

При індивідуальному характері виробництва деталі виготовляються одиничними екземплярами та мають різні конструктивні форми та розміри. За такого виробництва необхідно застосування універсального устаткування. [21]

При серійному виробництві однотипні деталі виготовляють партіями чи серіями. Залежно від чисельності однотипних деталей у партії чи серії серійне виробництво поділяється на дрібносерійне, середньосерійне та великосерійне. При серійному виробництві витрати на термічну обробку зменшуються проти індивідуальним виробництвом. Термічні цехи інструментальних заводів

відносяться до великосерійного виробництва. У цих цехах використовують напівавтоматичні та автоматичні агрегати та лінії. [21]

При масовому виробництві однотипні деталі виготовляються безперервним потоком і мають стандартну форму, розміри, вагу та матеріал. Термічна обробка цих деталей також ведеться безперервним потоком. При масовому виробництві потрібно мати спеціалізоване обладнання високої продуктивності з повною автоматизацією процесу. [21]

До основного відноситься обладнання, яке застосовується для виконання технологічних операцій термічної обробки, пов'язаних з нагріванням та охолодженням деталей: печі; нагрівальні установки та охолоджувальні пристрої (загартовані баки, гартувальні машини та обладнання для глибокого охолодження). [21]

До додаткового відноситься обладнання, яке застосовується для виконання додаткових технологічних операцій в термічних цехах-правки та очищення деталей: правильні преси та очисні установки - травильні ванни, дробоструминні апарати, мийні машини тощо.

До допоміжного відносяться: установки для приготування карбюратора і контрольованих атмосфер; підйомно-транспортне обладнання - мостові крани, поворотні крани, котючі балки, монорейки з електротельферами, рольганги, транспортери, конвеєри тощо.[21]

Прилади неруйнівного методу контролю твердості та структури деталей для визначення вад металу, глибини загартованого або цементованого шарів, вмісту вуглецю в цементованому шарі (вуглецевий потенціал) складають самостійну групу.[21]

Класифікацію термічних печей доцільно проводити за трьома основними характеристиками :



1. За технологічним призначенням – печі можуть бути відпальними, нормалізаційними, гартівними, відпускними, цементаційними, азотувальними[20].

2. За характером завантаження, вивантаження – камерні або поточного виробництва[20].

3. За джерелом тепла та способом його передачі деталям – за джерелом: полум'яні, електричні, аеродинамічні. Спосіб передачі тепла деталям визначається температурним режимом та їх влаштуванням: у камерних печах постійний по усьому робочому простору, у поточних може змінюватись продовж печі[20].

Для термічної обробки деталей великої довжини, наприклад, осей валів, напрямних та ін. застосовують газові шахтні вертикальні печі. Ці печі циліндричної форми. У шахтних печах завантаження деталей здійснюється в металеві кошики або підвішують на спеціальні пристрої - ялинку. [21]

Для газоцементації використовують шахтні електропечі типу Ц (муфельні) і шахтні печі типу СШЦ (безмуфельні). При цементації найбільшого поширення набули печі типу Ц - 105А і СШЦ. В якості карбюризатора при газоцементації використовуються вуглеводневі гази (пропан, бутан, природний газ), бензол, піробензол, рідкі вуглеводні (гас, синтин), що подаються в піч через крапельницю. Завантаження деталей в піч здійснюється в кошиках або підвішених на ялинках. [21]

Для проведення цементації та гартування вала-шестерні обираємо піч шахтного типу марки СШЦМ-4.6/10, ескіз печі представлено (рис. 5.4). Карбюризатор – рідкі вуглеводні, або природний газ. Після завантаження виробів, муфель подається карбюризатор, відпрацьований газ скидається у верхній частині муфеля через затвор скидання (свічка) і відводиться в атмосферу. До та після закінчення процесу цементації муфель продувається інертним газом. Витрата карбюризаторів на 1м<sup>2</sup> цементованої поверхні в середньому становить 0,35 ... 0,4 м<sup>3</sup>/год для газоподібного і 0,1 ... 0,12 л/год для рідкого (гас, синтин, піробензол, триетаноламін, уайт-спірит). Після цементації, вироби піддають завершальній

обробці – нормалізації, гартуванню і низькому відпуску, щоб усунути викривлення деталі і різко підвищити твердість виробу. [21]

Технічні характеристики печі СШЦМ-4.6/10 [20]:

- Напруга живильної мережі, - 380 Частота струму, Гц – 50
- Встановлена потужність, кВт – 35
- Максимальна температура в робочому просторі, °С: 1000
- Розмір робочого простору, мм: 600×900



Рисунок 5.4 – Шахтна муфельна цементацийна піч СШЦМ-4.6/10



Рисунок 5.5 – Шахтна піч СШО-3.3.8/4.5

Для проведення низького відпуску після гартування обираємо піч СШО-3.3.8/4.5, ескіз печі представлено (рис. 5.5)

Технічні характеристики печі СШО-3.3.8/4.5 [20]:

- Напруга живильної мережі, - 380 Частота струму, Гц – 50
- Встановлена потужність, кВт – 9
- Максимальна температура в робочому просторі, °С: 450
- Розмір робочого простору, мм: 280×800

Для очищення штампів після операцій охолодження обираю мийну машину марки ММК 4.10.4/1.

Технічні характеристики мийної машини марки ММК 4.10.4/1:

- Розміри піддону, мм: 1000×400×400.
- Температура в мийному резервуарі, °С: 0-90.
- Потужність насоса, кВт – 1.5.
- Максимальна маса піддону з садкою, кг: 400.
- Габаритні розміри, мм: 2500×2500×2000.

В якості підйомно-транспортного обладнання на ділянках встановлено електротельфер Т10532, підвішений на монорейковому пристосуванні і переміщується за допомогою електродвигуна.

Для контролю твердості після гартування використовується прилад для вимірювання твердості за Роквелом ТК-2 (шкала HRC). Перевірка твердості у 7% деталей від партії. [24]

### 5.3 Розрахунок обладнання для проведення термічного оброблення

Для виготовлення потрібної кількості готового виробу за рік треба розрахувати кількість обладнання та устаткування виробничої ділянки. До обладнання входить основне та допоміжне обладнання, до яких входять: термічні печі, ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюратору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, лабораторії з аналізу матеріалів [22].

Розрахунок основного обладнання:

Встановлюємо річну програму: виготовлення 19760 штук вал-шестерні. Розрахунок обладнання проводимо користуючись інформацією, щодо річної програми та вихідних даних деталі:

- діаметр деталі  $d = 0,085$  м;
- довжина поверхні деталі  $l = 0,241$  м;
- маса деталі  $m = 3$  кг
- кількість всіх деталей за рік 19760 штук.

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

- СШЦМ-4.6/10 – відпал;
- СШЦМ-4.6/10 – цементация;
- СШЦМ-4.6/10 – гартування;
- СШЦМ-4.6/10 – нормалізація;
- СШО-3.3.8/4.5– низькотемпературний відпуск;

Розраховуємо час нагріву і витримки усього процесу виготовлення для однієї деталі в пічці СШЦМ-4.6/10:

тв відпал = 8,5 годин;

тц цементації = 15 години;

тн нормалізації = 3,5 годин.

тг гартування = 3 години.

Тепер знаходимо загальний час термічної обробки деталі в пічці СШЦМ-4.6/10 за формулою:

$$\tau = \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ц}} + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{г}} = 8,5 + 15 + 3,5 + 3 = 30 \text{ годин}$$

Загальний час відпуску деталі в пічці СШО-3.3.8/4.5:

тв відпуску = 6 годин.

Загальний час виготовлення деталі:

$$\tau = 30 + 6 = 18 \text{ годин.}$$

Розрахуємо кількість печей:

- СШЦМ-4.6/10, продуктивність печі = 200 кг/год.

Так як продуктивність печі 200 кг/год, а вага однієї деталі 3 кг, то при повному завантаженні одна піч вміщує:

$$200/3 = 67 \text{ деталей.}$$

Розраховую використання печі на 75% для можливості у подальшому збільшення об'ємів виробництва без переобладнання ділянки. Проводимо розрахунок:

$$(200 * 0.75) / 3 = 50 \text{ деталей.}$$

Виробничий цех буде працювати 247 днів на рік у три зміни по 8 годин:

$$247 * 8 * 3 = 5928 \text{ робочих годин у рік}$$

Згідно з планом за рік потрібно виготовити 19760 деталей.

Спочатку розрахуємо скільки деталей за рік може виготовити одна піч:

$$(5928/30)*50 = 9880 \text{ штук}$$

Тепер розраховуємо кількість потрібних печей СШЦМ-4.6/10:

$$19760/9880 = 2 \text{ печі}$$

Розрахуємо кількість потрібних печей для низького відпуску:

- СШО-3.3.8/4.5, продуктивність = 100 кг/год.

Кожні 32 години ми отримуємо 100 деталей після печей СШЦМ-4.6/10:

$$100*3 = 300 \text{ кг}$$

Кожну піч розраховуємо з зайнятістю на 75% та отримуємо:

$$100*0.75 = 75 \text{ кг/год}$$

$$300/75 = 4 \text{ печі СШО-3.3.8/4.5.}$$

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

Основними елементами виробничої структури підприємства є робочі місця, ділянки та цехи.

Ділянка виробничого підрозділу, що об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального виробничого процесу з виготовлення продукції або обслуговування виробничого персоналу. [20]

Для розміщення проектованої площі цеху, зі шкідливими газами і значним надлишком тепла (більше 20 ккал/м<sup>3</sup> на годину), як правило, слід використовувати одноповерхову прямокутну будівлю, забезпечуючи ефективне видалення шкідливих речовин звичайним способом.

При монтажі теплового цеху в спільній будівлі з іншими цехами (виробниками, ковальськими, механічними) цех слід розташовувати з найдовшої сторони, вздовж зовнішньої стіни будівлі для покращення роботи. [21]

Всі елементи будівлі теплового цеху належать до категорії Т за ознакою

пожежної небезпеки і повинні бути виготовлені з негорючих матеріалів, що відповідають I і II ступеням пожежної небезпеки. Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м, встановлюється в залежності від схеми розміщення обладнання і необхідної ширини проїздів.

У проектуваному 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 межах робочих умов.

Для термічної зони, яка характеризується значним теплом і не потребує покриття, конструйте її з азбестоцементних листів. На ділянці ми використовуємо світлові аерозольні лампи «П» подібного профілю. Покриття на підлозі не слизьке та яке легко очиститься від забруднень. Для монтажу та ремонту обладнання використовується підвісне обладнання кран.[20]

Термічні цехи мають велику інженерних комунікацій, це ускладнює проведення технологічного процесу і не задовольняє вимогам. Питання розміщення комунікацій, допоміжного обладнання та складських приміщень може бути вирішене шляхом спорудження технологічного поверху або підвалу.

Для визначення геометричних параметрів ділянки необхідно розрахувати її площу. Загальна площа ділянки за призначенням ділиться на [21]:

- 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.[9]

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;
- 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. [21]

Розрахунок площі цеху:

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

де  $S_{ПОЛ}$  – корисна виробнича площа необхідна для розташування обладнання;

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

$S_{ВСП}$  - допоміжна площа.

$$S_{ПОЛ} = \sum S_i,$$

$S_i$  - площа для даного обладнання.

$$S_{ПОЛ} = 380 \text{ м}^2$$

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

$$S_{ВСП} = 25 \dots 35\% * S_{ПОЛ} = 35\% * 380 = 133 \text{ м}^2$$

$$S_{ПРОХ} = 25 \dots 35\% * S_{ПОЛ} = 35\% * 380 = 133 \text{ м}^2$$

$$S_{ЗАГ} = 380 + 133 * 2 = 646 \text{ м}^2$$

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

Оримуємо термічний ділянку розмірами:  $40 \times 16 = 646 \text{ (м}^2\text{)}$ .

## 5.5 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці

Термічні цехи складаються з:



- виробничі ділянки;
- допоміжні;
- склади готової продукції;
- трансформаторні підстанції;
- побутові та службові приміщення.

Розташування на площі змінюється залежно від розмірів і структури цеху, характеру технологічних процесів та інших особливостей. В основу розташування обладнання на плані та розрізах цеху слід покласти: [21]

- 1) Планується схема компонування технологічного вантажопотоку, яка не допускає перетину шляхів руху продуктів, що переробляються.
- 2) Можливість обслуговування та ремонту установки.
- 3) Організація між оперативним транспортуванням продуктів переробки.

При встановлених схемах розташування установки необхідно враховувати, що печі необхідно розташовувати вздовж зовнішніх стін. [20]

Місця з токсичним та шумним обладнанням слід розташовувати в окремих приміщеннях, ізольованих від основного залу.

Проходи та проїзди слід розташовувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей у зовнішніх стінах. [19]

План термічної ділянки наведено у ДОДАТОК Г.

## Висновки

Основними елементами виробництва є робочі місця: цехи та ділянки. Ділянка виробничого підрозділу, що об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального виробничого процесу з виготовлення продукції або обслуговування виробничого персоналу.

Для виготовлення потрібної кількості готового виробу за рік треба розрахувати кількість обладнання та устаткування виробничої ділянки. До обладнання входить основне та допоміжне обладнання, до яких входять: термічні печі, ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюратору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, лабораторії з аналізу матеріалів [22].

Після цементування вироби піддають фінішній обробці – загартування, нормалізації, охолодженню в гартувальній ванні та низькому відпуску, що дозволило б усунути викривлення деталі та різко підвищити твердість виробу. Режим термічної обробки після цементування залежить від багатьох факторів: способу цементування, марки сталі, структури дифузійного шару та ін.

До основного відноситься обладнання, яке застосовується для виконання технологічних операцій термічної обробки, пов'язаних з нагріванням та охолодженням деталей: печі; нагрівальні установки та охолоджувальні пристрої (загартовані баки, гартувальні машини та обладнання для глибокого охолодження).

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі для здобуття ступеню бакалавра аналізуються умови роботи частини «вал-шестерні», описуються вимоги до деталей даного типу, підбирається матеріал та розробляється технологія виготовлення маршруту, що посилює обробку та якість. контрольні заходи готової деталі.

2. Деталь «вал-шестерня» являє собою суцільну деталь – вал з різьбовими зубцями по колу і в процесі роботи піддається складним деформаціям – кручення, розтягування, вигину та стиску. У зв'язку з умовами роботи деталі вона повинна мати високу міцність і зносостійкість поверхневого шару, високу межу витривалості при згинальних і контактних навантаженнях у в'язкому сердечнику.

3. Аналіз літератури щодо визначення перспективних шляхів зміцнення та підвищення зносостійкості робочих поверхонь показує, що іонно-плазмові термоциклічне азотування (ІПТА) та цементация виробів є ефективними методами зміцнення хіміко-термічної обробки деталей із легованої конструкційної сталі.

4. Для виготовлення деталей пропоную використовувати леговану цементовану сталь 12Х2Н4А, яка є спадковою дрібнозернистою, що забезпечує хороші механічні властивості сталі.

5. До основних етапів маршрутної технології виготовлення деталей «вал-шестерня» відносяться:

- 1) Різка прутків на мірні заготовки.
- 2) Нагрівання.
- 3) Штампування.
- 4) Обрізка облоя.
- 5) Правка.
- 6) Термообробка.

6. З метою отримання необхідних властивостей для матеріалу деталі «Вал-шестерня» зі сталі 12Х2Н4А пропоную термічну обробку:

1. Повний відпал;

2. Цементация;
3. Нормалізація;
4. Гартування;
5. Обробка холодом;
6. Низький відпуск.

7. Після аналізу технології термічної обробки деталі для процесу термічної обробки вал-шестерні будуть застосовані такі печі:

- СШЦМ-4.6/10 – відпал;
- СШЦМ-4.6/10 – цементация;
- СШЦМ-4.6/10 – гартування;
- СШЦМ-4.6/10 – нормалізація;
- СШО-3.3.8/4.5– низькотемпературний відпуск;

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М.: Металлургия, 1989. 640с.
2. Гаркунов Д. Н., Поляков А. А. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов : Машиностроение: 1973. 200 с.
3. Попович В., Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. М.: Металлургия, 1989. 640с.
4. Ульман И.Е., Тонн Г.А., Герштейн И.М. Ремонт машин: М.: Колос: 1982. 446с.
5. Трусова Е.В. Особенности процесса химико-термической обработки с использованием термоциклирования стали: Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета: 2017. 254 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение, М.:Металлургия, 1977, - 646 с.
7. Дунаев П.Ф. Детали машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Лёликов – М. : Машиностроение, 2004, 560 с.
8. Бондаренко Г.Г. Рыбалко В.В., Кабанова Т.А. Материаловедение. М.: Машиностроение: 2013. 360 с.
9. Гайдамак О. Л. Вузлі та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. Лабораторний практикум: Вінниця:ВНТУ,2006. 92 с.
10. Бернштейн М. Л., Займовский В. А. Механические свойства металлов: Изд. 2-е. — М. «Металлургия»: 1979. 456 с.
11. Мэзона У.Г. Физическая акустика: под ред.. Том 1. Методы и приборы ультразвуковых исследований — М.: Мир: 1966. 215 с.
12. ГОСТ 7505-89. Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 1989-03-15]. Вид. офіц. Москва, 1989. 45 с. (Інформація та документація).
13. Степанова Н.Н. Методы исследования материалов и процессов: учеб. пособие/. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ: 2006. 133 с.

14. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П., Материаловедение, М.:Машиностроение, 1972. - 510 с.
15. А.В. Михайлов Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств: Старый Оскол.: ТНТ: 2010.336 с.
16. Пожидаева С.П. Технология конструкционных материалов: Уч. Пособие для студентов 1 и 2 курса факультета технологии и предпринимательства. Бирск. Госуд. Пед. Ин-т: 2002. 275 с.
17. Костин Н.А. Технологические аспекты повышения стойкости штампового инструмента: Курский государственный университет. Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга»: 2018. 287 с.
18. Гудцова Н. Т. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: Справочник. Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии: 1956. 1204 с.
19. Технология конструкционных материалов / Под ред. А.М.Дальского. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М : Высшая школа., 1990. - 352 с.
20. Соколов К. Н. Оборудование термических цехов: Вища школа:1984. 328 с.
21. Рустем С. Л. Оборудование термических цехов:Машиностроения: 1971. 288 с
22. Зуев В. М. Термическая обработка металлов. М.: Высшая школа: 1976. 351с.
23. Технология конструкционных материалов. : Учебник / Под ред. Г.А. Прейса. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - К. : Вища школа, 1991. - 391 с.
24. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука: 1976. - 230с.







ДОДАТОК В

