

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

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

_____ дата, підпис

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

Тема роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення деталі та технологічного процесу зміцнення деталі «вал-шестерня»

Виконав:
студент Іванов Ігор Олександрович

Керівник:
Гапонова Оксана Петрівна

Залікова книжка № _____

_____ дата, підпис

_____ підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:
Сидоренко Ю.Ю.

_____ оцінка, дата

_____ дата, підпис

Суми
2020

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. П. Гапонова

«__» _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ДЛЯ ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ
БАКАЛАВРА**

Іванов Ігор Олександрович

1. Тема проекту (роботи) Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення деталі та технологічного процесу зміцнення деталі «вал-шестерня» затверджена Наказом по університету від «7» квітня 2020 р. № 0513-III

2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

6. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра вміщує 57 сторінок, зокрема 6 таблиць, 15 рисунків, список із 32 використаних джерел на 2 сторінках, 2 додатків на 2 сторінках.

Мета роботи – розроблення технології виготовлення та термічної обробки деталі «вал-шестерня» зі сталі 18ХГТ.

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.

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведений аналіз умов роботи деталі, матеріалів, що застосовуються для його виготовлення, обрано леговану сталь 18ХГТ, описано вплив легувальних елементів та домішок на властивості сталі, запропонована технологія виготовлення деталі «вал-шестерня», призначено попередню та остаточну термічну обробку, розрахована необхідна кількість основного та допоміжного обладнання, здійснено планування термічної ділянки.

Ключові слова: ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ЦЕМЕНТАЦІЯ, ГАРТУВАННЯ, ВІДПУСК, МІКРОСТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains 57 pages, in particular 6 tables, 15 figures, a list of 32 sources used on 2 pages, 2 applications on 2 pages.

The purpose of the work is to develop the technology of manufacturing and heat treatment of the "gear-shaft" part made of 18XГТ steel.

Task:

- analyze the working conditions of the part;
- to analyze the literature on ways to strengthen the details of the gear shaft;
- rationally choose the material for the manufacture of parts;
- develop the technological process and heat treatment of the product;
- select the main and auxiliary equipment for heat treatment;
- develop a plan for the location of equipment in the thermal area.

Research methods - macro- and microanalysis, hardness measurement by Brinell and Rockwell methods.

During the qualification work the analysis of working conditions of the part, materials used for its production, selected alloy steel 18XГТ, described the influence of alloying elements and impurities on the properties of steel, proposed technology for manufacturing parts "shaft-gear", assigned preliminary and final heat treatment, the required amount of main and auxiliary equipment is calculated, the planning of the thermal section is carried out.

Keywords: GEAR SHAFT, WEAR RESISTANCE, CEMENTATION, HARDENING, HOLIDAY, MICROSTRUCTURE, PROPERTIES.

Зміст

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ	8
1.1 Умови роботи деталі «вал-шестерня»	8
1.2 Аналіз причин виходу з ладу деталі вал-шестерня	9
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	24
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ	25
3.1. Вибір матеріалу деталі «вал-шестерня»	25
3.2 Методи дослідження	31
3.2.1 Макро- мікро аналізи	33
3.2.2 Визначення твердості та мікротвердості	34
Висновки	36
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	37
4.1 Отримання заготовки вала-шестерні	37
4.2 Процес оброблення вала-шестерні	38
Висновки	42
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТНА ЧАСТИНА	43
5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі	43
5.2 Вибір обладнання для проведення операцій термічної обробки	47
5.3 Розрахунок обладнання для проведення термічного оброблення	50
5.4 Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується	52
5.5 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці	54
Висновки	56
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується безперервно зростаючі важкі умови експлуатації машин. Такі умови роботи машин висувають до матеріалів особливі вимоги. Для задоволення цих вимог створено багато сплавів на основі різних металів.

У сучасній техніці 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 18ХГТ.

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.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень рекомендовані до впровадження у виробництво.

Апробація результатів роботи. Основні результати кваліфікаційної роботи доповідалися на VII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.).

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

1.1 Умови роботи деталі «вал-шестерня»

Вал-шестерня є суцільнолита деталь – вал з нарізними по колу зубцями, яка чудово витримує високі навантаження, не вимагаючи регулярного ремонту [1]. Вал-шестерня використовується для зачеплення зубчастого колеса, що обумовлює передачу руху обертання від одного вала до іншого. Деталь знаходить застосування в різних приводних механізмах і механічних редукторах.

В даний час є два види конструкції [1]:

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

Єдина цільна конструкція валу-шестерні є максимально надійною, точною і міцною. Насадна шестерня використовується в механізмах, при роботі яких потрібно поздовжнє рух шестерні по осі вала. Рознімна конструкція механізму може бути виконана з різних матеріалів, до того ж вона більш практична в плані ремонтпридатності.

Виготовлення вала шестерні проводиться з урахуванням сфери застосування і призначення конкретної деталі/механізму, що дозволяє підібрати необхідний варіант термічної обробки, модуль, форму і діаметр. В процесі виробництва продукція проходить ретельний контроль якості.

Жорсткі умови експлуатації обладнання призводять до швидкого зносу всіх конструктивних елементів, в тому числі вала-шестерні, вимагаючи своєчасного відновлення або заміни.

Деталь «вал-шестерня» входить до складу циліндричного двоступінчастого редуктора і служить для передачі крутного моменту з швидкохідного вала на тихохідний.

Редуктор – механізм, який слугує для зменшення частоти обертання і збільшення крутного моменту [1]. Це закінчений механізм, що сполучається з двигуном і робочою машиною муфтами або іншими рознімними пристроями.

У корпусі редуктора розміщені зубчасті або черв'ячні передачі, нерухомо закріплені на валах. Вали спираються на підшипники, розміщені в гніздах корпусу; в основному використовують підшипники кочення.

Циліндричні редуктори комплектуються тільки циліндричними зубчастими передачами і відрізняються числом ступенів і положенням валів. Циліндричні двоступінчасті редуктори зазвичай виконують по розгорнутій, роздвоєною або соосною схемою з одним, двома або трьома потоками потужності. Найбільш поширена розгорнута схема. Редуктори, виконані за цією схемою, досить технологічні, мають малу ширину, допускають легку і раціональну уніфікацію.

Вал-шестерня працює в умовах дії радіальної знакозмінної зосередженого навантаження, осьового навантаження і крутного моменту. Зуби зубчастого вінця відчують дію згинального зусилля, контактного тиску і сил тертя. Під дією останніх відбувається нагрів і зношування зубів.

В процесі експлуатації зуби шестірні піддаються:

- вигину при максимальному одноразовому навантаженні,
- вигину при багаторазових циклічних навантаженнях, внаслідок чого в корені зуба розвиваються найбільші навантаження, і може відбуватися втомне руйнування, так само в процесі експлуатації відбувається знос поверхневого шару [1].

1.2 Аналіз причин виходу з ладу деталі вал-шестерня

У процесі роботи матеріал вала-шестерні відчуває складні деформації – кручення, розтяг, вигин і стискання. За умовами роботи вали-шестерні повинні бути зносостійкими, до них ставляться вимоги високої міцності,

жорсткості, хорошої оброблюваності, малої чутливості до концентраторів напружень, а також здатності піддаватися термічній обробці.[2]

Поломки валів-шестерень в більшості випадків носять втомний характер і відбуваються в зоні концентраторів напружень. Є випадки виходу валів-шестерень з ладу, викликані зазвичай ушкодженнями зубів. Найбільш поширеними видами пошкоджень зубів є втомні контактні руйнування робочих поверхонь і втомні руйнування. Значно рідше спостерігається заїдання або знос.

Втомне викришування від контактних напружень є основним видом руйнування поверхні зубів при хорошому мастиллі передачі. При цьому знос зубів малий.

Абразивний знос є основною причиною виходу з ладу передач при поганому мастиллі, тобто якщо недостатньо захищені від забруднення абразивними частинками (пил, продукти зносу тощо).

Втомна поломка зубів є одним з найбільш небезпечних видів руйнування, що виникає від дії змінних напружень протягом порівняно тривалого терміну служби.

Таким чином, основними причинами, що впливають на зниження надійності і довговічності валів-шестерень є різні види зношування і пошкодження їх робочих поверхонь, а також втомні руйнування.

Висновки

Виходячи з вимог, що ставляться до деталі «вал-шестерня», оптимальними для виготовлення деталі, є конструкційні леговані цементовані сталі.

Основними критеріями вибору сталі для вал-шестерні повинні служити механічні властивості серцевини, які залежать від розміру перетину і прогартованості. Цементовані сталі характеризуються досить високою прогартованістю, що дозволяє забезпечити необхідну твердість поверхневого шару і серцевини при гартуванні в маслі, технологічність для насичення, яка визначається малою схильністю до надмірного насичення поверхні вуглецем.

Відповідно до умов роботи вал-шестерні, ця деталь повинна мати високу міцність і зносостійкість поверхневого шару, високу межу витривалості при вигині і контактних навантаженнях при в'язкій серцевині. Також вал-шестерня працює в умовах вібрацій і при високих температурах, в зв'язку з чим від даного виробу потрібна гарна ударна в'язкість.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

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

Недоліком об'єднаної конструкції вал-шестерні є необхідність виготовляти вал з того ж матеріалу, що і шестерню, часто з більш високоякісного і дорогого, ніж потрібно. Крім того, при заміні шестерні, наприклад, внаслідок зносу або поломки зубів доводиться замінювати і вал. Незважаючи на це, в редукторах шестерню часто виконують заодно з валом і навіть при товщині, що значно перевищує зазначені норми. Це пояснюється більшою жорсткістю і міцністю, а також технологічністю вал-шестерні, що в кінцевому підсумку виправдовує її вартість.

Деталь вал-шестерня складається з уніфікованих поверхонь таких як: циліндричних поверхонь і різьбова поверхня, поверхня різьбових отворів, пазів шпон, канавок, опасок, конічних поверхонь, зубчастої поверхні і торцевої поверхні.

Конструкція деталі забезпечує можливість застосування типових і стандартних технологічних процесів: деталь даної конструкції можна обробляти на універсальному обладнанні з використанням універсальних пристроїв: точіння, фрезерування, свердління.

Фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу заготовки досить легко обробляються, середньо пластична.

Види вал-шестерен різняться в відповідності до видів шестерні [2].

Деталь виготовлена з заготівлі «штамповки», що дає можливість раціонально використовувати деталь. Наступним етапом виготовлення деталі та підвищенням її характеристик є хіміко-термічна обробка. Саме вона в умовах роботи деталі дає змогу виготовити її з найбільш прийнятними характеристиками.

Хіміко-термічною обробкою (ХТО) називають термічну обробку, яка полягає в поєднанні термічного і хімічного впливу для зміни складу, структури та властивостей поверхневого шару сталі [2]. ХТО – найбільш поширений вид обробки матеріалів для надання їм експлуатаційних властивостей. Найбільш широко застосовують методи насичування поверхневого шару сталі вуглецем або азотом, або обома цими елементами. Відповідно розрізняють наступні процеси [3]: цементація – насичення вуглецем поверхні, азотування – насичення поверхні сталі азотом, нітроцементації та ціанування – одночасного введення в поверхневі шари сталі вуглецю та азоту. Іноді застосовують насичення поверхневих шарів сталі іншими елементами (хромом – дифузійне хромування, бором – борування, кремнієм – силіцирування та алюмінієм – алітування).

Процес ХТО – це багатоступінчастий процес, який відбувається в три послідовні стадії [3]:

1. Утворення активних атомів у насичуючому середовищі поблизу поверхні або безпосередньо на поверхні металу.
2. Адсорбція утворених активних атомів поверхнею насичення.
3. Дифузія – переміщення адсорбованих атомів в ґратах оброблюваного металу. Дифузії можлива тільки за умови розчинності дифундуючого елемента в оброблюваному матеріалі та достатньо високої температури, яка забезпечує енергією, необхідну для здійснення цього процесу.

Товщина дифузійного шару, а отже, і товщина зміцненого шару поверхні виробу є найважливіша характеристика ХТО. Товщину шару визначають рядом таких факторів, як температура насичення, тривалість процесу насичення (рис. 2.1), склад сталі, тобто вміст тих чи інших легуючих елементів; градієнт концентрацій насичуючого елемента між поверхнею та межею насичуючого шару в глибині виробу.

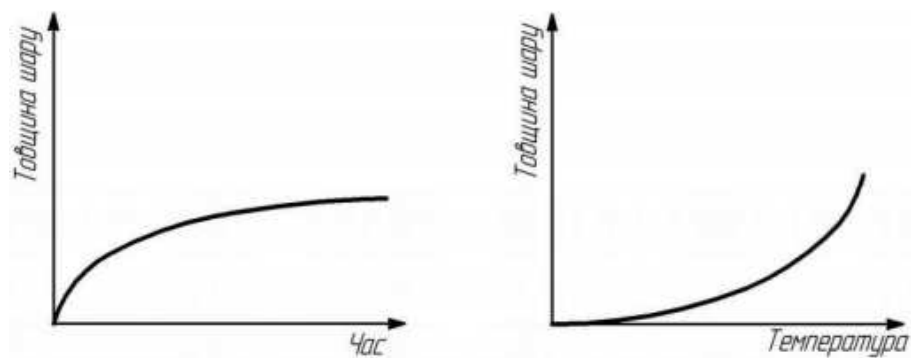


Рисунок 2.1 – Глибина дифузійного шару залежно від тривалості процесу та температури [4]

Цементация

Цементациєю називають процес високотемпературного насичення поверхневого шару сталі вуглецем [5]. Через те що вуглець в α -фазі майже нерозчинений, процес цементациї здійснюють в інтервалі температур 930...950 °С, тобто вище $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворювання. Структура поверхневого шару цементованого виробу являє собою структуру заевтектоїдної сталі (перліт і цементит вторинний), тому для надання сталі остаточних експлуатаційних властивостей після процесу цементациї необхідно здійснити термічну обробку, що складається із гартування та низького відпуску; температурно-часові параметри режиму термічної обробки встановлюють залежно від хімічного складу сталі, призначення та геометричних розмірів цементованого виробу [5].

Звичайно застосовують гартування від температури цементациї безпосередньо після закінчення процесу хіміко-термічної обробки або після охолодження до 800...850°С та повторного нагрівання центральної (нецементованої) частини виробу. Після гартування відбувається відпуск за температури 160...180°С.

Як відомо [5], сталі, пропоновані для цементациї, повинні мати якісне прогартування та загартування цементованого шару, що забезпечують потрібний рівень міцності, зносостійкості та твердості. Прогартування «серцевини» регулюють вузьким діапазоном твердості, який становить

30...40 HRC. Через тривалість процесу цементації та високу температуру рекомендовано використовувати спадководрібнозернисті сталі, розмір зерна яких не перевищує 6 – 8 балів. В іншому випадку в ході цементації спостерігається значне зростання зерна «серцевини» виробу, що призводить до зниження його експлуатаційних властивостей.

У випадку серійного та крупносерійного виробництва цементованих виробів найбільшого поширення набула цементація в газоподібних карбюраторах. Цей метод забезпечує найбільшу рівномірність по товщині та властивостях цементованого шару, зменшує час, витрачений на процес хіміко-термічної обробки, а в ряді випадків дозволяє проводити гартування виробів безпосередньо після цементації. Останнім часом набув поширення процес вакуумної цементації [5].

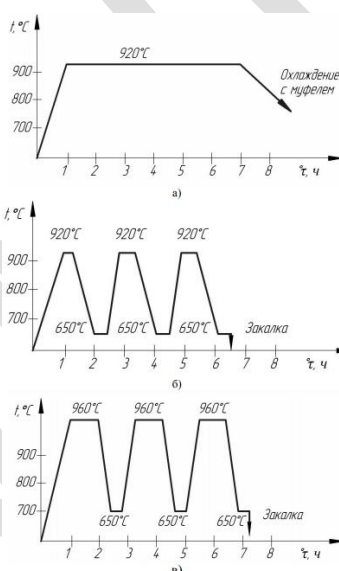
Газова цементація з використанням термоциклів

Цементація широко застосовується в машинобудуванні для поверхневого зміцнення сталевих деталей - підвищення їх зносостійкості, втомної міцності і опору контактним навантажень. Однак традиційна цементація має ряд істотних недоліків, головним з яких є велика тривалість процесу [5]. Проблема інтенсифікації цементації, так само як і інших процесів хіміко-термічної обробки металів, відноситься до найбільш важливих завдань практичного металознавства. Одним з методів інтенсифікації насичення сталі вуглецем і азотом може бути метод термоциклічної обробки, суть якого полягає в проведенні насичення не при постійній температурі (ізотермічний режим), а при змінній температурі, що змінюється циклічно (не ізотермічний режим або термоцикліний) [5].

Для дослідження впливу температурно-часових параметрів на результати цементації була проведена серія дослідів на зразках хромомарганцевих сталей масового виробництва 18ХГТ при постійному складі газового цементуючого середовища в природному газі. Режими цементації представлені на рисунку 2.8., результати цементації в таблиці 2.1.

Режими цементації і характеристики цементованих шарів
на сталі 18ХГТ [5]

№ режиму	Режим цементації	Загальний час насичення, г	Глибина шару, мм	Швидкість насичення, мм/г	Характеристика шару
1	920 °С Охолодження з піччю	7	0,84	0,12	Гомогенний твердий розчин з рідкими включеннями карбідів
2	920 °С; 0,5 г + 650 °С, 0,5 г (3 рази)+ гартування	6,5	1,5	0,23	Дрібні карбіди (1...2,2 мкм) по всьому шару
3	960 °С; 1 г + 650 °С, 0,3 г (3 рази)+ гартування	7	1,75	0,25	Карбіди середнього розміру (3,5...5 мкм)



Рисунку 2.2 – Температурно-часові режими цементації сталі 18ХГТ, прийняті в експерименті: а – ізотермічний режим; б, в – термоциклічний режим [5]

Як видно з представлених в таблиці експериментальних результатів, швидкість насичення сталі 18ХГТ вуглецем на ізотермічних режимах (режими № 2 і № 3) в 1,9...2,1 рази вище, ніж на стаціонарному режимі, особливо при підвищеній температурі 960 °С першого ступеня (режим № 3). Цементация при циклічній зміні температури в інтервалі AC_1 і AC_2

призводить до впливу на дифузію вуглецю як поліхромного ($\gamma \leftrightarrow \alpha$) перетворення, так і перлітного перетворення при витримці в районі температур розпаду аустеніту (~ 650 °C). Одночасно з інтенсифікацією дифузійного насичення такі режими призводять до інтенсифікації карбідоутворення в хромомарганцевих сталях [7].

Механізм прискорення дифузії вуглецю в сталь при цементації з термоциклі в інтервалі температур вище AC_3 і нижче AC_1 включає три аспекти, пов'язаних з приведенням решітки заліза в нерівноважний стан [8].

В процесі фазових перетворень в сталі (що має місце при термоциклюванні) відбувається перебудова кристалічної решітки, викликаючи генерування точкових і лінійних дефектів. Навколо цих дефектів створюються локальні поля внутрішніх напружень, що притягають атоми впроваджуваних елементів. Крім того, в результаті фазових перетворень виникає внутрішня напруги, пов'язані з фазовою дилатацією, які підвищують термодинамічну активність вуглецю і інтенсифікують процеси дифузії.

При багаторазових фазових перетвореннях в сталі відбувається істотне збільшення зерен, в результаті чого сумарна зерногранична поверхню полікристалічного тіла (цементовані вироби) багаторазово зростає.

Оскільки дифузія елементів впровадження по межах зерен відбувається в кілька раз швидше, ніж в їх обсязі, вуглець швидко проникає в глибину сталі по «пухкій» решітці прикордонних зон.

Таким чином зміна температурно-часових умов насичення (термоциклювання) дозволяє значно прискорити дифузію вуглецю в сталі і прискорити процес цементації.

Обробка сталі в газовій атмосфері по неізотермічним режимам дозволяє збільшити не тільки глибину цементації (в результаті інтенсифікації процесів дифузії), але і збільшити вміст вуглецю в дифузійних шарах до заевтектоїдних концентрацій. У сталях, легованих карбідоутворення елементами (в тому числі 18ХГТ), цементація з термоциклюванням сприяє отриманню структури з надлишковими карбідами в формі дрібних округлих

включень, рівномірно розподілених в металевій матриці [8]. Матеріали з такою структурою відрізняються підвищеною зносостійкістю.

Таким чином, цементація сталей в газовій атмосфері з термоциклюванням дозволяє отримати в 2 рази більше глибокі дифузійні шари з підвищеним вмістом вуглецю в порівнянні з цементацією на ізотермічних режимах при однакових температурах і витягах. Цементация з термоциклюванням дозволяє проводити гартування безпосередньо з цементаційної печі без додаткового нагріву, що значно здешевлює обробку сталевих виробів. При циклічній цементації сталей, легованих карбідотвірними елементами (наприклад, хромомарганцева сталь 18ХГТ) в газовій атмосфері, в їх дифузійних шарах утворюються досить велика кількість карбідних включень, рівномірно розподілених у твердому розчині, що сприятливо позначається на зносостійкості цементованих шарів [11].

Азотування

Азотуванням називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом [4]. Азотування суттєво підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, межу витриманості та опір корозії в таких середовищах, як атмосфера, вода, пара та ін. Твердість азотованого шару значно вища, ніж твердість цементованого, та зберігається під час нагрівання до високих температур (450...500 °С), тоді як твердість цементованого шару, який має мартенситну структуру, зберігається тільки до 200...225 °С. Твердість азотованого шару на залізі невелика – близько 300...350 НV. Тому азотуванню підлягають середньовуглецеві сталі, леговані Cr, Mo, V, Al, які набувають високу твердість і зносостійкість під час азотування. В легованій сталі на поверхні утворюються леговані ϵ - та γ' -фази: $(Fe, M)_{2-3}N$ і $(Fe, M)_4N$.

Зносостійкість азотованої сталі вища, ніж зносостійкість цементованої та загартованої. В азотованому шарі виникають залишкові напруження стиску, величина яких на поверхні становить 600...800 МПа. Це підвищує межу витривалості та переносе осередок руйнування від утомленості під азотований шар. Межа витривалості гладких зразків зростає на 30...40%, а за

наявності концентраторів напружень (гострих надрізів) – більше ніж на 100% [3].

2.2 Перспективні технології поліпшення властивостей поверхневих шарів валу-шестерні

Однією з пропонувананих технологій, що відповідають сучасним вимогам, є іонно-плазмове термо-циклічне азотування (ПТА). ПТА – ефективний метод зміцнюючої хіміко-термічної обробки деталей у вакуумі з: легуваних конструкційних сталей (шестерень, зубчастих вінців, конічних і циліндричних шестерень, вал-шестерень, шнеків екструдерів, валів, прямозубих, прес-форм, муфт складної геометричної конфігурації і ін.), чавунів (прес-форми, вали, шестерні та ін.), нержавіючих сталей, титанових сплавів (рис. 2.3.) [3].

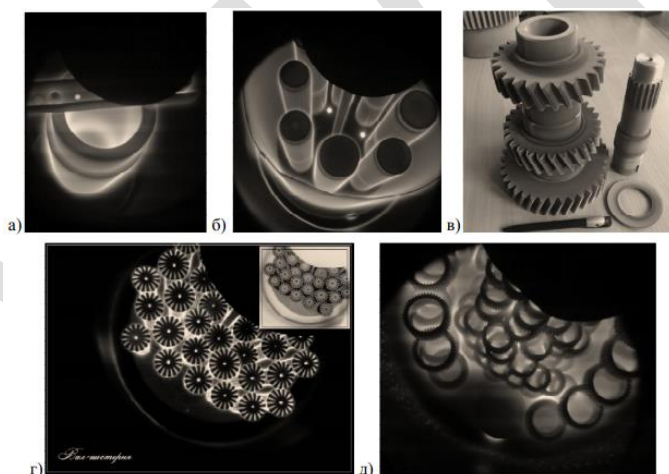


Рисунок 2.3 – Застосування ПТА для деяких деталей:

- а) гільза; б) шпindelь; в) шестерня і вал-шестерня; г) вал-шестерня;
- д) зубчасті колеса [4]

На відміну від традиційного вакуумного азотування пропонується технологія ПТА використовує газові середовища, в яких відсутній аміак, виключено водневе окрихчення поверхні, технологія дозволяє зміцнювати необхідні ділянки деталей. Основними споживачами обладнання і технології

іонно-плазмового азотування є автомобільні, тракторні, авіаційні, суднобудівні і судноремонтні, авіа-, машино- і верстатобудівні заводи, заводи по виробництву сільськогосподарської техніки, насосного та компресорного обладнання, шестерень, підшипників, алюмінієвих профілів, енергетичних установок і ін. [5, 6].

Технологія має наступні переваги [5, 6]:

- використовується нагрів тільки поверхневого шару деталі без прогріву її серцевини (нагрів відбувається за рахунок енергії тліючого розряду, тому немає необхідності використовувати печі);
- циклічні нагриви і охолодження деталі створюють термічні напруги в поверхневому шарі, що в 2-3 рази прискорює дифузійні процеси і відповідно скорочується час обробки;
- форма і розміри деталі і чистота її поверхні залишаються без змін, тому не потрібна фінішна механічна обробка;
- скорочення тривалості обробки, циклічний характер швидкісного дискретного енерговвода і нагрів тільки поверхневого шару скорочують витрати електроенергії до 10 разів.

Технологія ППТА захищена патентами України і не має аналогів у вітчизняній і світовій практиці [5]. Метод ППТА заснований на зміні напружено-деформованого стану поверхні (постійному накопиченні від циклу до циклу позитивних змін в структурі металів за рахунок впливу імпульсів короткої тривалості і великий амплітуді) реалізується за допомогою оригінальної вакуумної установки.

В основі запропонованої технології лежить процес, пов'язаний з дискретним введенням енергії, виникненням і релаксацією напружень в оброблюваному матеріалі (рис. 2.4, а, б) накопиченням дефектів кристалічної будови, за рахунок чого істотно збільшується кінетика дифузії, що призводить до її аномальному перебігу. внаслідок цього створюються умови для перерозподілу компонентів у твердому розчині, подрібнення фаз, а, отже, для підвищення твердості, міцності і ударної в'язкості.

На діаграмах показані мікронапруження, що виникають в шарі матеріалу (рис. 2.4. та 2.5). У точці М досягається максимальне значення стискальних (негативних) напружень. При зниженні температури (рис. 2.4, а) досягаються максимальні розтягувальні (позитивні) напруження в точці Q (рис. 2.4,б). Таким чином, можна розрахувати підсумовучі значення напружень в залежності від температури в деталі (рис. 2.5). Реалізація розробленого методу ППТА досягається за допомогою сформованих імпульсів струму (рис 2.6, а), які здійснюють дискретний ввід енергії, що підводиться. Таке технологічне рішення дозволяє скоротити час нагрівання деталі (рис 2.7) і час процесу дифузійного насичення поверхні.

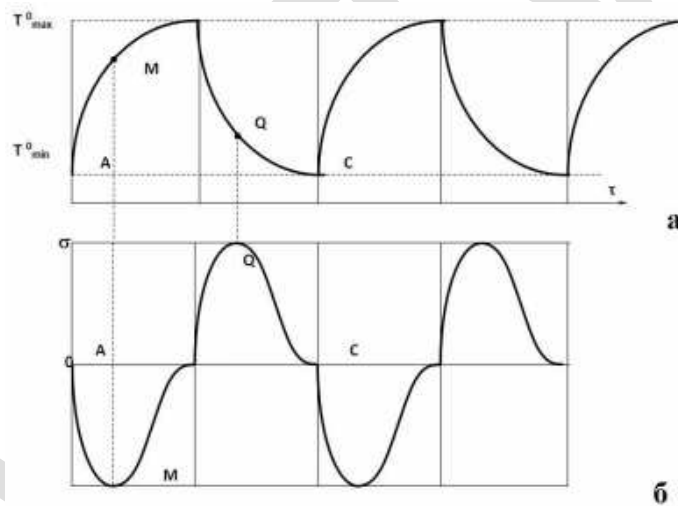


Рисунок 2.4 – Зміни мікронапружень:

а) від температурного циклу; б) в поверхневому шарі [6]

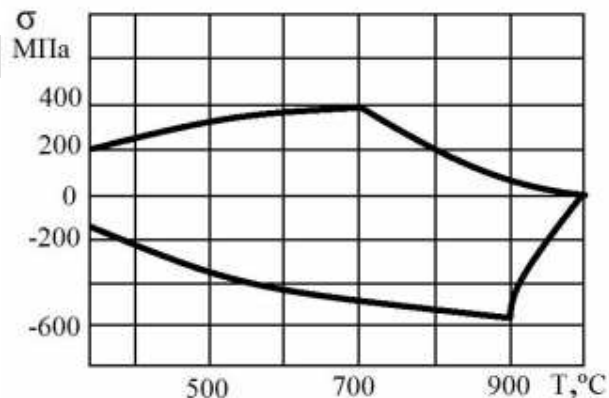


Рисунок 2.4 – Діаграма накопичення напружень в основі матеріалу в залежності від температури процесу [6]

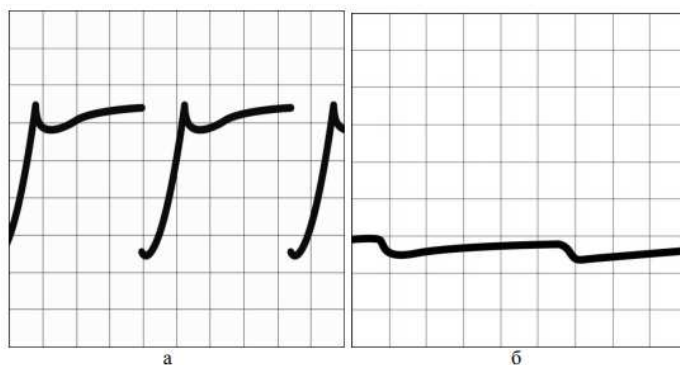


Рисунок 2.6 – Форма імпульсу: а – ПТА, б – ізотермічний режим ХТО [7]

Експериментально визначено, що застосування термоциклічного режиму більш ефективно, ніж ізотермічного (рис 2.7.). Отримані дані показали, що циклічна обробка в режимі $\pm 50^{\circ}\text{C}$ дозволяє досягти максимальної твердості поверхневого шару (рис 2.8.), тим самим знизити знос робочих частин деталі при роботі в газоабразивних середовищах і збільшити термін служби в 2-4 рази [7].

Метод ПТА дає можливість: отримувати шари заданого складу, збільшити твердість сталевих деталей до 9-12 ГПа в порівнянні з традиційними методами ХТО; підвищити продуктивність процесу в 3-5 рази; сформувати поверхневий нітрідний шар без мікротріщин.

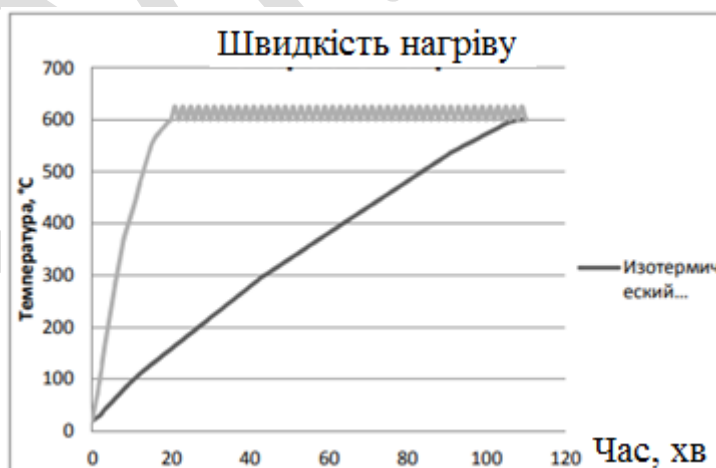


Рисунок 2.7 – Швидкість нагріву зразків методом іонно-плазмового термоциклічного азотування при ізотермічним і імпульсним режимах [7]

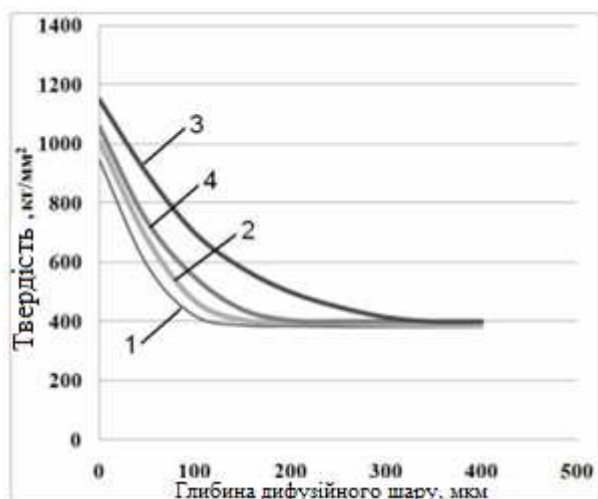


Рисунок 2.8 – Вплив тривалості циклів на глибину дифузійного шару:

1 – при ізотермічній обробці; 2 – при циклюванні $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$;

3 – при циклюванні $\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – при циклюванні $\pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7]

Отримані дані про зносостійкість зміцнених шарів в умовах абразивного зношування свідчать про перспективність застосування методу ПТА для поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів, що працюють в умовах абразивного зношування. Застосувавши новітні технологічні прийоми і змінивши комплекс специфічних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей, були отримані матеріали з новими експлуатаційними властивостями [12].

Висновки

Деталь виготовлена з заготовки «штампівка», що дає можливість раціонально використовувати деталь. Наступним етапом виготовлення деталі та підвищенням її характеристик є хіміко-термічна обробка. Саме вона в умовах роботи деталі дає змогу виготовити її з найбільш прийнятними характеристиками.

З пропонуванних технологій, що відповідають сучасним вимогам, є іонно-плазмове термоциклічне азотування (ПТА) та цементация виробу. Вони є ефективними методами зміцнюючої хіміко-термічної обробки деталей з: легуваних конструкційних сталей (шестерень, зубчастих вінців, конічних і циліндричних шестерень, вал-шестерень, шнеків екструдерів, валів, прямозубих, прес-форм, муфт складної геометричної конфігурації і ін.).

На відміну від традиційних методів термічної обробки пропонувані технології використовують газові середовища, в яких відсутній аміак, виключено водневе окрихчення поверхні, технології дозволяє зміцнювати необхідні ділянки деталей.

Виходячи з наведених перспективних методів термічної обробки та технологічних і економічних факторів ми пропонуємо цементацию, як метод хіміко-термічного поліпшення деталі.

Отримані дані про зносостійкість зміцнених шарів в умовах абразивного зношування свідчить про перспективність застосування методу для поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів, що працюють в умовах абразивного зношування.

РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

3.1. Вибір матеріалу деталі «вал-шестерня»

Довговічність і надійність деталі залежить від матеріалу і його конструкційної міцності. Підвищення експлуатаційних якостей виробу досягається правильним вибором марки сталі.

Матеріал для вал-шестерні вибирається з обов'язковим урахуванням [17]:

- 1) Умов експлуатації.
- 2) Механічних властивостей і в першу чергу поєднання високих меж втоми і циклічної в'язкості, що забезпечують надійну і тривалу роботу даного виробу.
- 3) Технологічних і структурних особливостей.
- 4) Особливостей конструкції, які забезпечують жолоблення і протидію до утворення тріщин.
- 5) Економічних міркувань.

Вал-шестерні знаходять широке застосування в приводних механізмах і редукторах на різних виробництвах. При використанні в важкому машинобудуванні потрібне виготовлення вал-шестерень до 6-10 ступеня точності. Точність передач дозволяє визначати плавність і точність роботи всього механізму, тому всі параметри зубчастих передач строго регламентовані [17].

Вибір марки сталі та методу її зміцнення для шестерень і валів-шестерень проводять в залежності від ступеня їх завантаженості.

Нормалізовані і поліпшені вал-шестерні виробляються з легованих і вуглецевих сталей наступних марок: 20, 40, 45, 50, 55, 40X, 45X, 40XH, 30XГТ, 55Г і т.д.

Для вал-шестерень, що підлягають цементації з гартуванням використовують леговані сталі марок 12ХНЗА, 18ХГТ, 20Х и т.д.

Вал-шестерні, що підлягають азотуванню з гартуванням випускають з легованих сталей марок 40X, 28X2МЮА, 40ХФА [15].

Кожен хімічний елемент, що входить до складу сталі, по-своєму впливає на її механічні властивості – покращує або погіршує [17].

Вуглець (С), що є обов'язковим елементом і знаходиться в сталі зазвичай у вигляді хімічної сполуки Fe_3C (карбід заліза), зі збільшенням його вмісту до 1,2% підвищує твердість, міцність і пружність сталі і зменшує в'язкість і здатність до зварюваності. При цьому також погіршуються оброблюваність і зварюваність.

Кремній (Si) вважається корисною домішкою, і вводиться в якості активного разкислювача. Як правило, він міститься в сталі в невеликій кількості (в межах до 0,4%) і помітного впливу на її властивості не робить. Але при вмісті кремнію більш 2% сталь стає крихкою і при куванні руйнується.

Таблиця 3.1.

Підбір матеріалу циліндричної вал-шестерні і відповідного колеса
(способи термообробки) [18]

Матеріал деталей (способи термообробки)	Умови роботи передач
Сталь (нормалізація, поліпшення) - чавун	Тихохідні передачі великих габаритів невисокої точності (8-9 ступеня). Вимоги до мастила нежорсткі
Сталь - сталь (поліпшення) Дрібносерійне виробництво.	Редуктори спеціальні та загального призначення. Навантаження і швидкості невисокі. Вимоги до габаритів нежорсткі
Сталь - сталь (гартування)	Колеса із середньою несучою здатністю і підвищеною швидкістю коробок передач і спеціальних редукторів загального машинобудування. Перемикання коліс здійснюється рідко і не на ходу
Сталь - сталь (цементация, нітроцементация з загартуванням)	Відповідальні високонавантажені передачі при підвищених вимогах до габаритів. Швидкості підвищена. Точність висока (5,6, 7-ястепені). Часто перемикаються колеса коробок передач

Марганець (Mn) міститься в звичайній вуглецевої сталі в невеликій кількості (0,3-0,8%) і серйозного впливу на її властивості не робить. Марганець зменшує шкідливий вплив кисню і сірки, підвищує твердість і міцність сталі, її ріжучі властивості, збільшує прогартованість, але знижує стійкість до ударних навантажень.

Сірка (S) і **фосфор (P)** є шкідливими домішками. Їх зміст навіть у незначних кількостях шкідливо впливає на механічні властивості сталі. Вміст в сталі більше 0,045% сірки робить сталь червоноломкою, тобто такою, що при куванні в нагрітому стані дає тріщини. Від червоноломкості сталь оберігає марганець, який зв'язує сірку в сульфіди (MnS). Зміст в сталі більше 0,045% фосфору, робить сталь холодноломким, тобто легко ламаються в холодному стані. Оброблюваність сталі фосфор кілька покращує, так як сприяє відділенню стружки.

Титан (Ti) підвищує міцність, щільність і пластичність сталі, покращує оброблюваність і опір корозії. Підвищує прогартованість сталі при малих змістах і знижує при великих.

Хром (Cr) підвищує міцність, загартованість і жаростійкість, ріжучі властивості і стійкість на стирання, але знижує в'язкість і теплопровідність сталі. Вміст великої кількості хрому (в звичайних сортах сталі доходить до 2%, а в спеціальних - до 25%) робить сталь нержавіючою та забезпечує стійкість магнітних сил.

Молибден (Mo) підвищує характеристики міцності сталі, збільшує твердість, червоність, антикорозійні властивості. Робить її теплопривкою, збільшує несучу здатність конструкцій при ударних навантаженнях і високих температурах. Ускладнює зварювання, так як активно окислюється і вигорає.

Нікель (Ni) збільшує в'язкість, міцність і пружність, але трохи знижує теплопровідність сталі. Нікелеві сталі добре куються. Значний вміст нікелю робить сталь немагнітною, корозійностійкою і жароміцною.

Вольфрам (W) утворюючи в сталі тверді хімічні сполуки – карбіди, різко збільшує твердість і червоностійкість. Збільшує працездатність сталі при високих температурах, її прогартованість, підвищує опір сталі до корозії і стирання, зменшує зварюваність.

Ванадій (V) забезпечує дрібнозернистість сталі, підвищує твердість і міцність. Збільшує щільність сталі, так як є хорошим розкислювачем. Знижує чутливість сталі до перегріву і покращує зварюваність.

Кобальт (Co) підвищує жароміцність, магнітні властивості, збільшує опір удару.

Алюміній (Al) є активним розкислювачем. Робить сталь дрібнозернистою, однорідною за хімічним складом, запобігає старінню, поліпшує штампованість, підвищує твердість і міцність, збільшує опір окисленню при високих температурах.

Мідь (Cu) впливає на підвищення корозійної стійкості, межі текучості і прогартованість. На зварюваність не впливає.

Для всебічного розуміння і аналізу процесів, що відбуваються при легуванні і деформації сталей, важливу роль відіграє знання залежностей між хімічним складом і механічними властивостями.

Саме тому одною з найрозповсюдженіших марок сталей для виготовлення вал-шестерні є сталь 20 за рахунок своєї вартості та характеристик.

В цілому сталь 20 знаходить широке застосування в котлобудуванні, для труб і нагрівальних трубопроводів різного призначення, крім того промисловість випускає прутки, лист. Після цементації і ціанування з цієї сталі можна виготовляти деталі, від яких потрібна висока твердість поверхні і допускається невисока міцність серцевини: кулачкові валики, осі, кріпильні деталі, шпинделі, пальці, зірочки, шпильки, вилки тяг і валики перемикачів передач, штовхачі клапанів, валики масляних насосів, пальці ресор, мало навантажені шестерні та інші деталі автотракторного і сільськогосподарського машинобудування.

Таблиця 3.2.

Хімічний склад сталі 20 в % [19]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	As
0.17-0.24	0.17-0.37	0.35-0.65	<0.04	<0.04	<0.25	<0.25	<0.25	<0.08

Таблиця 3.3.

Механічні властивості сталі 20 [19]

Стандарт	Стан поставки	Мінімальна межа текучості, $\sigma_{0,2}$	Межа міцності, σ_b	Мінімальне подовження σ , %	Відносне Звуження, ψ %	Термообробка
ГОСТ 1050	Після нормалізації	245	410	25	55	Після нормалізації
ДСТУ 7809	Після нормалізації	245	410	25	55	Після нормалізації

При виборі заготовки для заданої деталі призначаємо методи отримання певних конфігурацій, розміри, допуски, припуски на обробку і формуємо технічні умови на її виготовлення. Процес отримання заготовки визначається технічними властивостями матеріалу, конструктивними формами і розмірами деталі і програмою випуску.

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

Ця марка сталі відноситься до групи легованих конструкційних сталей, з яких поряд з підвищеною міцністю і зносостійкістю потрібна наявність пружних властивостей (наприклад, це такі деталі як: цанги, розрізні кільця, пружинні шайби, фрикційні диски, колінчаті вали, півосі, цапфи, черв'яки, шестерні). Деталі, що піддаються загартуванню та відпуску; ця сталь успішно замінює дорогі хромонікелеві сталі.

Таблиця 3.4.

Хімічний склад сталі 18ХГТ в %[20]

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 3.5.

Механічні властивості сталі 18ХГТ [20]

Стан поставки, режими термічної обробки	Діаметр, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_b (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж / м ²)	НВ (HRC _s), 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 Серцевина 285 Поверхня(57-63)
Цементация 920-950 °С, повітря. Гарт 820-860 °С, масло. Відпуск 180-200 °С повітря.	20	930	1180	10	50	78	Серцевина 341 Поверхня (53-63)
	60	780	980	9	50	78	Серцевина 240-300 Поверхня (57-63)

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

Після цементации і гартування виходить тверда і зносостійка поверхня і підвищена в порівнянні з вуглецевою сталлю міцністю серцевини. Ці сталі застосовуються для виготовлення деталей, що працюють при великих швидкостях ковзання і середніх тисках (для зубчастих коліс, кулачкових муфт, поршневих пальців і т.п.).

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

Деякі деталі працюють в умовах поверхневого зносу, відчуваючи при цьому і динамічні навантаження. Такі деталі виготовляють з низьковуглецевих сталей, що містять 0,10-0,30% С, піддаючи їх потім

цементациї. У цементуємі сталі титан вводять тільки для подрібнення зерна. При більшому його зміст він зменшує глибину цементованого загартованого шару і прогартованість. При ХТО слід враховувати, що бор, збільшуючи прогартованість, сприяє зростанню зерна при нагріванні. Для зменшення чутливості сталей до перегріву їх додатково легують Ti або Zr. Зазвичай вироби, виготовлені з високолегованих цементуємих сталей, піддають цементациї на невелику глибину.

Режим операцій попередньої і остаточної термообробки деталей (температура нагріву і мікроструктура в нагрітому стані, охолоджуюче середовище [13]).

3.2 Методи дослідження

Класифікація дефектів дозволяє правильно вибрати технологічні процеси виготовлення деталей, особливо типові; обґрунтувати раціональну спеціалізацію підрозділів; робити укрупнені розрахунки трудових і матеріальних витрат; планувати виробництво [14].

Вузли і деталі дефектують з метою оцінки їхнього технічного стану і визначення можливості їхньої подальшої експлуатації.

При дефектуванні встановлюють: зміни розмірів і геометричної форми деталей; наявність викривування, тріщин, сколів, пробоїн, подряпин, задир тощо; залишкових деформацій у вигляді вигину, перекосу; зміни фізико-механічних характеристик в результаті впливу температури, вологи тощо.

Контроль технологічного процесу полягає в строгому дотриманні режиму цементациї і термічної обробки, а саме [14]:

- Контроль температури (термопара).
- Контроль тиску в камері для цементациї (монometr).
- Контроль рівня масла в гартівному баку.
- Контроль витрати газів і склад атмосфери (газоаналізатор ТП 2220).

Даний контроль виконують 2 рази на тиждень при стійкій роботі агрегату.

Контроль якості цементованих виробів

При контролі якості цементованих деталей перевіряють:

– Товщину шару. Її зазвичай визначають на зразках-свідках, виготовлених з тієї ж сталі і підданих цементації і термічної обробки за тими самими режимами, що і деталі. Товщину шару оцінюють по твердості або мікроструктурі.

– Твердість поверхні і серцевини, а також розподіл твердості по шару. Вимірювання твердості проводять безпосередньо в потоці обробці деталей.

– Мікроструктуру перевіряють у лабораторії на шліфах, приготованих з цементованих деталей або зразків - свідків. У цементованому шарі визначають дисперсність мартенситу, наявність і розташування карбідів, залишковий аустеніт і дефекти шару (сітка цементиту, надлишкові скупчення карбідів, наявність троститу і ін.).

– Аналізують також структуру серцевини, при цьому основну увагу звертають на наявність фериту і його розподіл.

– Зміст вуглецю визначають пошаровим або спектральним аналізом.

В процесі виробництва контролюють:

1. Твердість поверхні (рис 3.1.).



Рисунок 3.1– Твердомір [22]

2. Відсутність тріщин (зовнішній огляд, дефектоскоп (рис 3.2))



Рисунок 3.2 – Дефектоскоп [23]

Деформацію деталей при термічній обробці. Даний контроль доцільно проводити через кожні 1 - 2 години роботи агрегату.

Крім того, періодично (зазвичай на початку чергової зміни) 1 - 2 деталі направляють для металографічного аналізу структури і глибини загартованого шару, вимірювання твердості поверхні і серцевини на вирізаних зразках – свідках [24].

3.2.1 Макро- мікро аналізи

Макроструктурою будь-якого металу або сплаву називається структурою, видима неозброєним оком або при дуже невеликому збільшенні [15]. Макроструктуру вивчають по зламу, розрізу зливка і за допомогою макрошліфів. При цьому можуть бути визначені величина зерна, його форма, будова волокна, а також виявлені видимі дефекти: пористість, усадочні раковини, газові бульбашки, тріщини, неметалеві включення. Макрошліфи виготовляють наступним чином: з досліджуваного матеріалу вирізають зразок, шліфують і полірують одну з його поверхонь, потім цю поверхню трують спеціальними реактивами (сірчаної, соляної та іншими кислотами), після чого її розглядають [15].

Мікроструктурою називається будова металу або сплаву, видиме при великому збільшенні. Для вивчення мікроструктури застосовують

металографічні мікроскопи (горизонтальні і вертикальні), а також електронні мікроскопи, що дають збільшення до 100 000 разів.

Мікрошліф, а саме зразки після їх виготовлення (шліфування та полірування), травлять. Для травлення чавуну і сталі служить 4% -ний розчин азотної кислоти в спирті; для травлення алюмінієвих сплавів – 0,5%-ий розчин фтористої кислоти у воді.

Окремі структурні складові розчиняються травителем: одні сильніше, інші є слабшою, тому під мікроскопом виходить різне віддзеркалення світла від більш і від менш протравлених частинок структури; одні з них здаються темними, інші світлий. Від якості виготовленого шліфа залежить точність визначення структурної будови.

Мікроаналіз дозволяє визначати величину і форму самих дрібних зерен, якість термічної обробки, а також виявити дрібні дефекти металу або сплаву (волосяні тріщини, неметалеві включення) [15].

3.2.2 Визначення твердості та мікротвердості

Серед різноманітних властивостей металів і сплавів найважливішими є механічні властивості, що характеризують спроможність металів і сплавів чинити опір деформуванню і руйнуванню під дією зовнішніх сил. Основними механічними властивостями металів і сплавів є твердість, міцність, пластичність, ударна в'язкість. Твердість характеризується спроможністю металу чинити опір значній пластичній деформації при контактному навантаженні. Дослідження на твердість завжди проводяться безпосередньо на поверхні виробу або деталі шляхом механічного вдавлювання в метал іншого більш твердого тіла (індентора).

Вимірювання твердості, як способу дослідження механічних властивостей металів, в результаті простоти і швидкості визначення твердості, а також можливості оцінки властивостей металів без руйнації виробів, отримав дуже широке застосування як на заводах так і в науково-

дослідних і навчальних закладах. Метод визначення твердості цінний ще і тим, що між твердістю матеріалу і його межею текучості і міцності є цілком визначений зв'язок.

Кожний метод визначення твердості полягає у вдавлюванні робочого тіла (індентора) у плоску поверхню дослідного матеріалу зразка або деталі. Через велику кількість властивостей різноманітних матеріалів у практиці застосовуються різні методи визначення твердості. В одних методах індентором є кулька (метод Брінелля) в інших – твердосплавний або діамантовий конус (метод Роквелла) або діамантова піраміда (метод Віккерса, мікротвердість).

Вдавлювання індентора в поверхню матеріалу здійснюється в кожному методі визначення твердості з різним навантаженням. Сила навантаження на індентор залежить від властивостей матеріалу, розмірів (товщини) дослідного зразка й інших факторів експерименту.

Визначення мікротвердості проводять в тих випадках, коли необхідно визначити твердість тонких, невеликих деталей або окремих структурних складових сплавів [14, 15].

Висновки

Довговічність і надійність деталі залежить від матеріалу і його конструкційної міцності. Підвищення експлуатаційних якостей виробу досягається правильним вибором марки сталі.

Вал-шестерні знаходять широке застосування в приводних механізмах і редукторах на різних виробництвах.

Вал-шестерні працюють в умовах поверхневого зносу, зазнаючи при цьому і динамічні навантаження. Такі деталі виготовляють з низьковуглецевих сталей, що містять 0,10-0,30% С, піддаючи їх потім цементації. Зазвичай вироби, виготовлені з високолегованих цементуємих сталей, піддають цементації на невелику глибину.

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

Ця марка сталі відноситься до групи легованих конструкційних сталей, з яких поряд з підвищеною міцністю і зносостійкістю потрібна наявність пружних властивостей (наприклад, це такі деталі як: цанги, розрізні кільця, пружинні шайби, фрикційні диски, колінчаті вали, напівосі, цапфи, черв'яки, шестерні). Деталі, що піддаються загартуванню та відпуску; ця сталь успішно замінює дорогі хромонікелеві сталі.

Розглянутий вплив легувальних елементів на властивості обраної марки сталі. Хром і марганець забезпечують підвищення прогартованості сталі, мікродобавки титану – сприяють утворенню карбідів і зменшенню зростання зерна при термічній та хіміко-термічній обробці.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

4.1 Отримання заготовки вал-шестерні

При виборі заготовки для заданої деталі призначаємо методи отримання певних конфігурацій, розміри, допуски, припуски на обробку і формуємо технічні умови на її виготовлення. Процес отримання заготовки визначається технічними властивостями матеріалу, конструктивними формами і розмірами деталі і програмою випуску [24].

Робоче креслення деталі містить всі необхідні відомості, що дають повне уявлення про деталі, тобто всі необхідні проекції, розрізи, перерізи та виносні елементи, абсолютно точно і однозначно пояснюють її конфігурацію і можливі способи виготовлення деталі «вал-шестерня».

Вибрати заготовку значить встановити спосіб її отримання, визначити припуски на обробку, розрахувати розміри і встановити допуски на неточність виготовлення. При виборі способу отримання заготовки необхідно, щоб форми і розміри заготовки якомога більше наближалися до форми і розмірам готової деталі.

Деталь має раціональну форму, що дозволяє застосовувати високопродуктивні методи отримання заготовки та обробки. Деталь має зручні базові поверхні - зовнішні циліндричні поверхні або центрувальні отвори. Деталь вал-шестерня виготовляється зі сталі 18ХГТ.

Заготівлю в цьому випадку доцільно отримувати гарячим об'ємним штампуванням у відкритих штампах (облойною). Вона характеризується тим, що після заповнення металом порожнини струмка штампа надлишок його витісняється в спеціальну порожнину, утворюючи при цьому відхід званий облой. Облой обрізається особливими штампами.

Заготівлею для деталі "вал-шестерня» служить поковка, отримана на кривошипних пресах. Штампування на кривошипних пресах в 2-3 рази

продуктивніше, припуски і допуски на 20- 35% нижче в порівнянні зі штампуванням на молотах, витрата металу на поковки знижується на 10-15%. Припуски і допуски заготовок, що штамуються на кривошипних пресах, приймають згідно [25].

Технологічний процес виготовлення поковок гарячими штампами складається з наступних основних операцій:

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

Штампування доцільно проводити на пресі так як він дозволяє отримати більш точні заготовки, завдяки відсутності ударних навантажень зменшується ймовірність зсуву штампів (точніше верхнього штампа щодо нижнього, фіксованого положення). Вертикальний штамп має в нижній точці, виштовхувач заготовок (прес), що дозволяє зменшувати штампувальні ухили до 3...5, а це дозволяє зменшити припуски на обробку. Крім того продуктивність преса вище ніж молота в півтора-два рази за рахунок скорочення ударів в кожному струмку до одного.

4.2 Процес оброблення вал-шестерні

При складанні маршрутної технології орієнтуються на типовий технологічний процес виготовлення деталей класу «вал», при цьому всю механічну обробку розподіляють за операціями, дотримуючись наступних правил.

На перших операціях технологічного процесу, оброблювані поверхні прийняті за основні технологічні бази: центрові гнізда і торець. Решта поверхні деталі обробляються в послідовності зворотної ступеня їх точності. Закінчуємо виготовлення деталі обробкою найбільш точною, що має найбільше значення для деталі поверхні (поверхня 50 мм і 6 квалітет). Операції технологічного контролю виконуємо після тих етапів, де ймовірно підвищену кількість браку, перед складними і дорогими операціями, а також в кінці обробки. При проектуванні маршрутної обробки деталі для кожної операції вибираємо обладнання, пристосування, ріжучий і вимірювальний інструмент таблиця 4.1.

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

В результаті цементації поверхневий шар деталей науглецьовується (0,8 - 1% C), а в серцевині залишається 0,12 - 0,32% C, тобто виходить ніби двошаровий метал.

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, тростита, сорбіту. Заевтектоїдну сталь нагрівають вище точки A_{C1} на 30 - 90°C. 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 °C проводиться для зняття внутрішніх напружень. Після такого режиму термічної обробки структура поверхневого шару -

дрібногочастий мартенсит з краплями надлишкового цементиту, а серцевини - дрібнозернистий ферит + перліт [13].

Після відпуску проходить операція фінішної механічної обробки та доводка деталей.

Таблиця 4.1.

Технологічний процес виготовлення вала-шестерні

№ операції	Найменування і короткий зміст операції	Технологічні бази	Обладнання	Прийоми	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 гарячештамповий прес			Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2
025	Фрезерна. Фрезерувати торці і Зацентрувати їх.	Шейки і торець.	Фрезерно-цивувач напівавтомат МР71	Лещата трикутні (губки-призми)	Дві фрези торцеві. Два свердла центровочних	Штангенциркуль.
030	Точіння. Точити начорно поверхні: (Дві канавки) Фаски 1x45.	Центрові отвори і торець.	Багаторізцевий напівавтомат 1721	Центру, планшайба, повідкового пристрій	3 Різця прохідних і два різця канавкових, 3 різця для зняття фаски.	Скоби
035	Точіння. точити поверхні	Центрові отвори і торець.	Багаторізцевий напівавтомат 1721	Центру, планшайба, повідкового пристрій	1 Різець прохідний, різець для проточки буртиків, і 2 різця для зняття фаски.	Скоби
040	Напів чистове точіння. точити поверхні	Центрові отвори і торець.	Багаторізцевий напівавтомат 1721	Центру, повідкового пристрій	3 Різця прохідних	Скоби
045	Напів чистове точіння. точити поверхні	Центрові отвори і торець.	Багаторізцевий напівавтомат 1721	Центру, планшайба, повідкового пристрій	різець прохідний	Скоби
050	Термообробка Цементация+ Гартування		Піч СШЦ-4.9/10,5			
055	Контроль ХТО		Мікротвердомір, оптичний мікроскоп			Зразки свідки
060	Термообробка Низький		Піч СШО-6.20/7			

	відпуск					
065	Контроль	Стіл ВТК				Мікрометр
070	Попереднє шліфування поверхонь	центрові отвори	Спеціальний багатокамневий кругошліфовальний верстат	Центру, повідкового пристрій.	Абразивні круги.	Скоби
075	Попереднє шліфування поверхонь	центрові отвори	Спеціальний багатокамневий кругошліфовальний верстат	Центру, повідкового пристрій..	Абразивні круги..	Скоби
080	Фрезерування паза	Шейки, торець	Шпони фрезерний верстатДФ-96.	Призма	Кінцева фреза з маятникової подачею.	
085	Фрезерування циліндричних зубів	центрові отвори	Зубофрезерний верстат 5313	Центру, повідкового пристрій..	Черв'ячна модульна фреза.	
090	Зняття фасок на торцях зубів.	центрові отвори		Центра		
095	Шевінгування зубів.	Шийки, торець	Шевінговальний верстат 5702В	Центра	Шевер спеціальної конструкції.	
0100	Слесарна	-	-	-	-	-
0105	Промивка	-	-	-	-	-

Висновки

Процес отримання заготовки визначається технічними властивостями матеріалу, конструктивними формами і розмірами деталі і програмою випуску.

Робоче креслення деталі містить всі необхідні відомості, що дають повне уявлення про деталі, тобто всі необхідні проекції, розрізи, перерізи та виносні елементи, абсолютно точно і однозначно пояснюють її конфігурацію і можливі способи виготовлення деталі «вал-шестерня».

Деталь має раціональну форму, що дозволяє застосовувати високопродуктивні методи отримання заготовки та обробки. Деталь має зручні базові поверхні – зовнішні циліндричні поверхні або центрувальні отвори. Деталь вал-шестерня виготовляється зі сталі 18ХГТ.

Заготівлю в цьому випадку доцільно отримувати гарячим об'ємним штампуванням у відкритих штампах (облойною). Заготовкою для деталі «вал-шестерня» служить поковка, отримана на кривошипних пресах.

Штампування доцільно проводити на пресі так як він дозволяє отримати більш точні заготовки, завдяки відсутності ударних навантажень зменшується ймовірність зсуву штампів (точніше верхнього штампа щодо нижнього, фіксованого положення).

При складанні маршрутної технології орієнтуються на типовий технологічний процес виготовлення деталей класу «вал», при цьому всю механічну обробку розподіляють за операціями, дотримуючись наступних правил. На перших операціях технологічного процесу, оброблювані поверхні прийняті за основні технологічні бази: центрові гнізда і торець. Решта поверхні деталі обробляються в послідовності зворотної ступеня їх точності. Закінчуємо виготовлення деталі обробкою найбільш точною, що має найбільше значення для деталі поверхні. Операції технологічного контролю виконуємо після тих етапів, де ймовірно підвищену кількість браку, перед складними і дорогими операціями, а також в кінці обробки.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТНА ЧАСТИНА

5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі.

Мета будь-якого процесу термічної обробки полягає в тому, щоб нагріванням до певної температури і подальшим охолодженням викликати бажану зміну будови металу, в результаті якого зміняться і властивості [26]. Проведення термічної обробки (ТО) можна звести до трьох етапів: нагрів, витримки та охолодження; визначальними є температура нагріву і швидкість охолодження.[16]

Послідовність операцій обробки вала-шестерні, виготовленого зі сталі 18ХГТ:

- 1) заготовка;
- 2) нормалізація;
- 3) механічна обробка;
- 4) цементация та гартування з цементацийного нагрівання;
- 5) низький відпуск;
- 6) механічна обробка.

Традиційно склалося поняття «відпалу» охоплює кілька відрізняються один від одного по режиму операцій термічної обробки, об'єднаних єдиною метою - привести сталь в термодинамічно рівноважний стан.

Нормалізація - це нагрівання стали вище A_3 або $A_{ст}$ (АЦМ) витримка і охолодження на спокійному повітрі [26]. Так як охолодження йде швидше, ніж при відпалі, то частинки цементиту виявляються дисперсних. Для низьковуглецевих сталей різниці у властивостях після нормалізації і відпалу практично немає, а для середньовуглецевих – нормалізація дає більшу твердість і замінити відпал не може, зате дозволяє виготовити невідповідальні деталі без додаткової термічної обробки.

При нагріванні відбувається повна перебудова структури в аустеніт, а при охолодженні – його розпад на ферито-цементитну суміш. Структура виходить дрібнозерниста, в'язка і м'яка. Внутрішні навантаження знімаються повністю [14].

Порівняно з відпалом нормалізація значно економніше, так як при охолодженні металу піч не зайнята.

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

В результаті цементації поверхневий шар деталі насичується вуглецем (0,8 - 1% C), а в серцевині залишається 0,12 - 0,32% C, 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 [29]. В результаті гартування підвищується твердість і міцність, але знижується в'язкість і пластичність. Нагрівання сталі проводиться на 30-50 °C вище лінії GSK діаграми Fe-Fe₃C. 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 гартування 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) [18].

Здатність сталі гартуватися на мартенсит називається прогартованістю [26]. 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.

Відсутність наскрізної прогартованості пояснюється тим, що при охолодженні серцевина остигає повільніше, ніж поверхня.

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 [26]. 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 [18].

Після цементації деталь надходить на механічну обробку. Основна мета гартування сталі – це отримання високої твердості, і міцності що є результатом утворення в ній нерівноважних структур – мартенситу, тростита, 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°С).

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.).

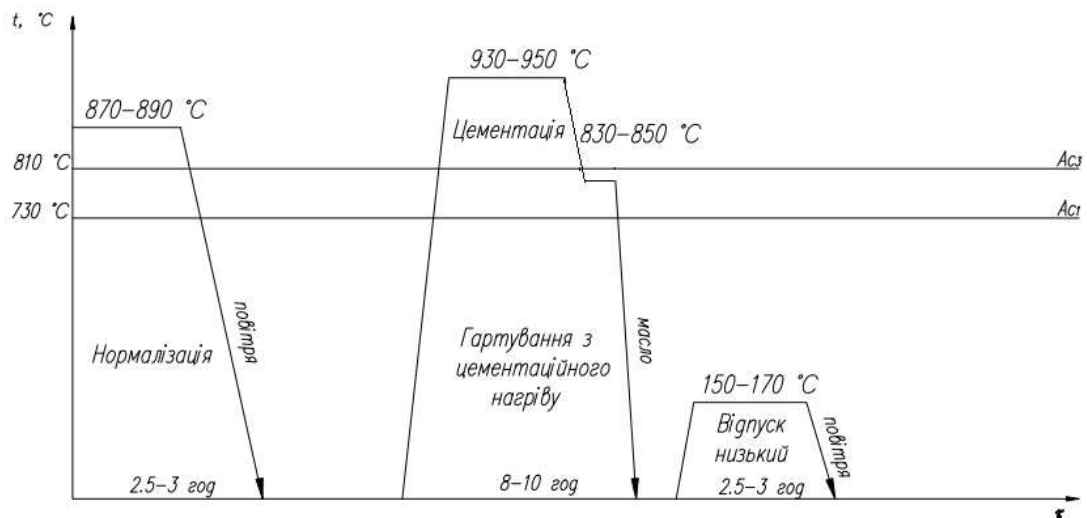


Рисунок 5.1– Графік режиму термічної і хіміко-термічної обробки деталі зі сталі 18ХГТ

Сталь має низький вміст вуглецю (не більше 0,25%) і піддається цементації - поверхневому 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.).

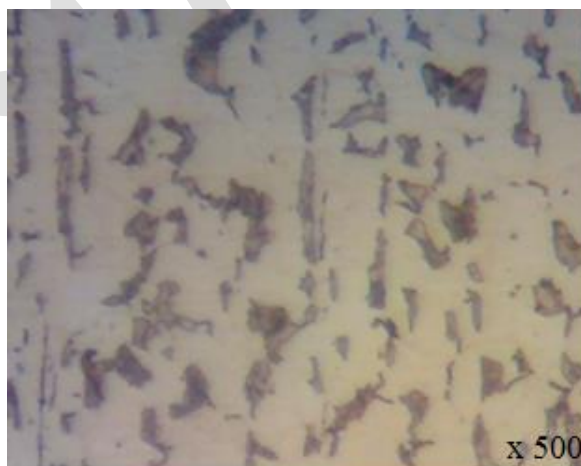


Рисунок 5.2 – Структура сталі 18ХГТ після нормалізації

Після гартування з цементаційного нагрівання і низькотемпературного відпуску поверхневий шар має структуру мартенситу відпуску з включеннями цементиту (карбідів), а серцевина – структуру бейніту з включеннями фериту (рис. 5.3.).



Рисунок 5.3 – Структура сталі 18ХГТ після ХТО (цементації з подальшим гартуванням з цементаційного нагрівання)

5.2 Вибір обладнання для проведення операцій термічної обробки

До основного обладнання термічної ділянки відносяться нагрівальні печі, печі-ванни, установки для отримання штучних атмосфери, індукційні гартівні установки, гартівні баки, тобто обладнання, за допомогою якого виконують основні технологічні операції.

До допоміжного обладнання відносять вантажопідйомні засоби, пристосування для завантаження деталей, контрольно-вимірвальних апаратури і прилади, обладнання для очищення деталей і т.п.

Печі для термічної обробки класифікуються за такими ознаками [30]:

1. За призначенням - універсальні печі для відпалу, нормалізації, загартування та відпуску; цементаційні; для азотування; печі спеціального призначення.
2. По температурі робочого простору - низькотемпературні, середньотемпературні, високотемпературні.
3. За характером завантаження, вивантаження - камерні, шахтні, печі з висувним подом.
4. За джерела тепла - мазутні, газові, електричні. У невеликих високотемпературних термічних цехах і ділянках широкого поширення

набули універсальні камерні печі, що працюють на мазуті або газі, електричні печі камерні та шахтні з карборундовими (сілітовими) нагрівачами.

У шахтні печі завантаження деталей здійснюють в металевих кошиках або підвішують на спеціальні пристосування -ялинку.

Для газової цементації використовують шахтні електричні печі типу Ц (муфельні) і шахтні печі типу СШЦ (безмуфельні). Як карбюратора при газовій цементації застосовують вуглеводневі гази (пропан, бутан, природний газ), бензол, піробензол, рідкі вуглеводні (гас, синтин), що подаються в піч через крапельницю. Завантаження деталей в піч здійснюють в кошиках або підвішують на ялинках.

Вуглеводні є основними газами, причому головну роль серед них відіграє метан. Вміст метану в цемент середовищі 1 - 40%. Окис вуглецю як вуглецьвмісний компонент в умовах газової цементації має другорядне значення, хоча зміст її в газовій фазі може досягати значної величини (до 30%). Вміст кисню і двоокису вуглецю зазвичай невелика і в сумі не перевищує 2 - 3%; вміст водню, що є зневуглецьованим газом, в цемент середовищі може досягати 80%.

При цементації найбільшого поширення набули печі типу Ц - 105А і СШЦ.

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

Технічні характеристики печі СШЦ-4.9/10,5 [31]:

Напруга живильної мережі, В - 380

Частота струму, Гц - 50

Встановлена потужність, кВт – 65

Номінальна температура в робочому просторі, °С 1050

Розмір реторти, мм:

- діаметр 400

- висота 900

Маса садки, кг – 220



Рисунок 5.4 – Шахтна муфельна цементацийна піч СШЦМ -4.9/10,5 [32]

Після цементациі, 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 цементациі залежить від багатьох чинників: способу цементациі, марки стали, структури дифузійного шару і т.д.

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

Технічні характеристики мийної машини марки ММК 7.13.5/1 [32]:

Розміри піддону (довжина×ширина×висота завантаження над піддоном), мм 1300×700×500.

Температура в мийному резервуарі, °С - 0...90.

Потужність насосу, кВт - 2,2.

Максимальна маса піддону з садкою, кг – 800.

Число фаз – 3.

Габаритні розміри (ширина×довжи×нависота), мм 3000×2500×2000.

Підйомно-транспортне обладнання та обладнання для контролю

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 проведення термічного оброблення

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 термічні печі, допоміжного обладнання, до яких входять: ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюризатору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, експрес - лабораторії з аналізу матеріалів [32].

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 $m = 2,8$ кг = 6,7 кг.

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

$$100000 * 6,7 = 670000 \text{ кг або } 670 \text{ т.}$$

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

- СШЦ-4.9/10,5– цементация;

- 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.

$$670000/220 = 3045$$

$$3045/3900 = 0,78 - 1 \text{ піч}$$

$$\text{КПД} = 0,77 * 100/1 = 78\%$$

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

$$670000/220 = 3045$$

$$3045/3900 = 0,78 - 1 \text{ піч}$$

$$\text{КПД} = 0,77 * 100/1 = 78\%$$

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

$$670000/60 = 11200$$

$$11200/3900 = 2,86 - 4 \text{ печі}$$

$$\text{КПД} = 2,86 * 100/4 = 72\%$$

Розраховуємо час нагріву і витримки усього процесу виготовлення деталі:

$$\tau = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}},$$

де $\tau_{\text{н}}$ – час нагріву;

$\tau_{\text{в}}$ – час витримки.

$$\tau_{\text{н}} = 0,1 D_1 * k_1 * k_2 * k_3,$$

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 розміру, якщо нагрів буде з 1 сторони = 4; з 3 сторін = 1,5; і 4 сторін = 1.

t_n нормалізації = 30 хвилин; t_v нормалізації = 2,5 годин.

t_n цементації + гартування = 4 години;

t_v цементації + гартування = 8-10 хвилин.

t_n відпуску = 0,5 години; t_v відпуску = 2,5-3 годин.

Тепер знаходимо загальний час, кожної термічної обробки за формулою:

$$\tau = t_n + t_v,$$

t_n нормалізації = 2,5-3 годин;

τ гартування = 8-10 годин;

τ 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 проектованої ділянки цеху, з шкідливими газовиділеннями і значними надлишками тепла (більше 20 ккал / м³ на годину), як правило, має використовуватися одноповерхова будівля прямокутної форми, що забезпечує найбільш ефективне видалення шкідливих речовин звичайним шляхом.

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

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

У проєктованому 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, проєктуємо 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 [31]:

- виробничу;
- допоміжну;
- контрольню-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:

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

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.

$$S_{ПОЛ} = 405 \text{ м}^2$$

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

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

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

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

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

Таким чином, ми отримуємо термічний ділянку розмірами: 42 x 18 = 756 (м²).

5.5 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці

Термічні цехи в своєму складі мають:

- виробничі ділянки;
- допоміжні окремі (склади);
- склади готової продукції, допоміжних матеріалів, пристосовування;
- трансформаторні підстанції;
- службові і побутові приміщення.

Склад площ змінюється в залежності від розміру і структури цеху, характеру технологічних процесів та інших особливостей.

В основу розстановки обладнання на плані і розрізах цеху повинні бути покладені:

1) Намічена компоновочна схема технологічного вантажопотоку, що не допускає перетину шляхів руху оброблюваних виробів. Виняток може бути тільки для цехів індивідуального і дрібносерійного виробництва, але при цьому загальний вантажопотік повинен йти в одному напрямку.

2) Можливість обслуговування і ремонту устаткування.

3) Організація між операційного транспорту оброблюваних виробів.

При встановленні схеми розташування устаткування необхідно врахувати, що печі повинні розташовуватися уздовж зовнішніх стін.

Ділянки з токсичними, які здійснюють шум обладнанням повинні бути розміщені в окремих приміщеннях, ізольованих від пічного залу.

Проїзди і проходи бажано розміщувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей у зовнішніх стін.

План термічної ділянки наведено у ДОДАТОК Б.

Висновки

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 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, допоміжного обладнання, до яких входять: ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюризатору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, експрес – лабораторії з аналізу матеріалів.

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 сталі, структури дифузійного шару і т.д.

До основного обладнання термічної ділянки відносяться нагрівальні печі, печі-ванни, установки для отримання штучних атмосфери, індукційні гартівні установки, гартівні баки, тобто обладнання, за допомогою якого виконують основні технологічні операції.

Для контролю твердості після гартування використовується прилад для вимірювання твердості за Роквелом ТК-2 (шкала HRC).

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі для здобуття ступеня бакалавра проаналізовано умови роботи деталі «вал-шестірня», описано вимоги до деталей даного типу, обрано матеріал й розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі, запропоновано зміцнювальну обробку та заходи контролю якості готової деталі.

2. Деталь «вал-шестірня» є суцільнолита деталь – вал з нарізними по колу зубцями і в процесі роботи піддається складним деформаціям – кручення, розтяг, вигин і стискання. У зв'язку з умовами роботи деталі, вона повинна мати високу міцність і зносостійкість поверхневого шару, високою межею витривалості при вигині і контактних навантаженнях при в'язкій серцевині.

3. Проведений аналіз літератури щодо визначення перспективних способів зміцнення та підвищення зносостійкості робочих поверхонь показано, що іонно-плазмове термоциклічне азотування (ШТА) та цементация виробу є ефективними методами зміцнюючої хіміко-термічної обробки деталей з легованих конструкційних сталей.

4. Для виготовлення деталі пропоную застосовувати леговану цементовану сталь 18ХГТ, яка є спадково дрібнозернистою, що забезпечує гарні механічні властивості сталі, істотно знижує ударну в'язкість.

5. До основних етапів маршрутної технології виготовлення деталі «вал-шестірня» відносяться:

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

8) Калібрування.

Визначені методи контролю на етапах виготовлення деталі.

6. З метою отримання необхідних властивостей для матеріалу деталі «вал-шестірня» зі сталі 18ХГТ запропоновано термічну обробку: попередня – нормалізація, з метою повної перебудова структури в аустеніт, а при охолодженні – його розпад на ферито-цементитну суміш, структура виходить дрібнозерниста, в'язка і м'яка. Внутрішні навантаження знімаються повністю, остаточна – цементація, гартування з цементаційного нагрівання та низькотемпературний відпуск. Після цементації та термічної обробки вироби мають високовуглецеву зміцнену поверхневий шар з твердістю 60 HRC....., і низьковуглецеву в'язку серцевину з твердістю 30 HRC.

7. При виборі обладнання проведений аналіз технології термічної обробки деталі, запропоновані наступні види обладнання для операцій термічної обробки: для нормалізації - СШО 6.20/7, для цементації - СШЦ-4.9/10,5, відпуску - СШО 6.20/7.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

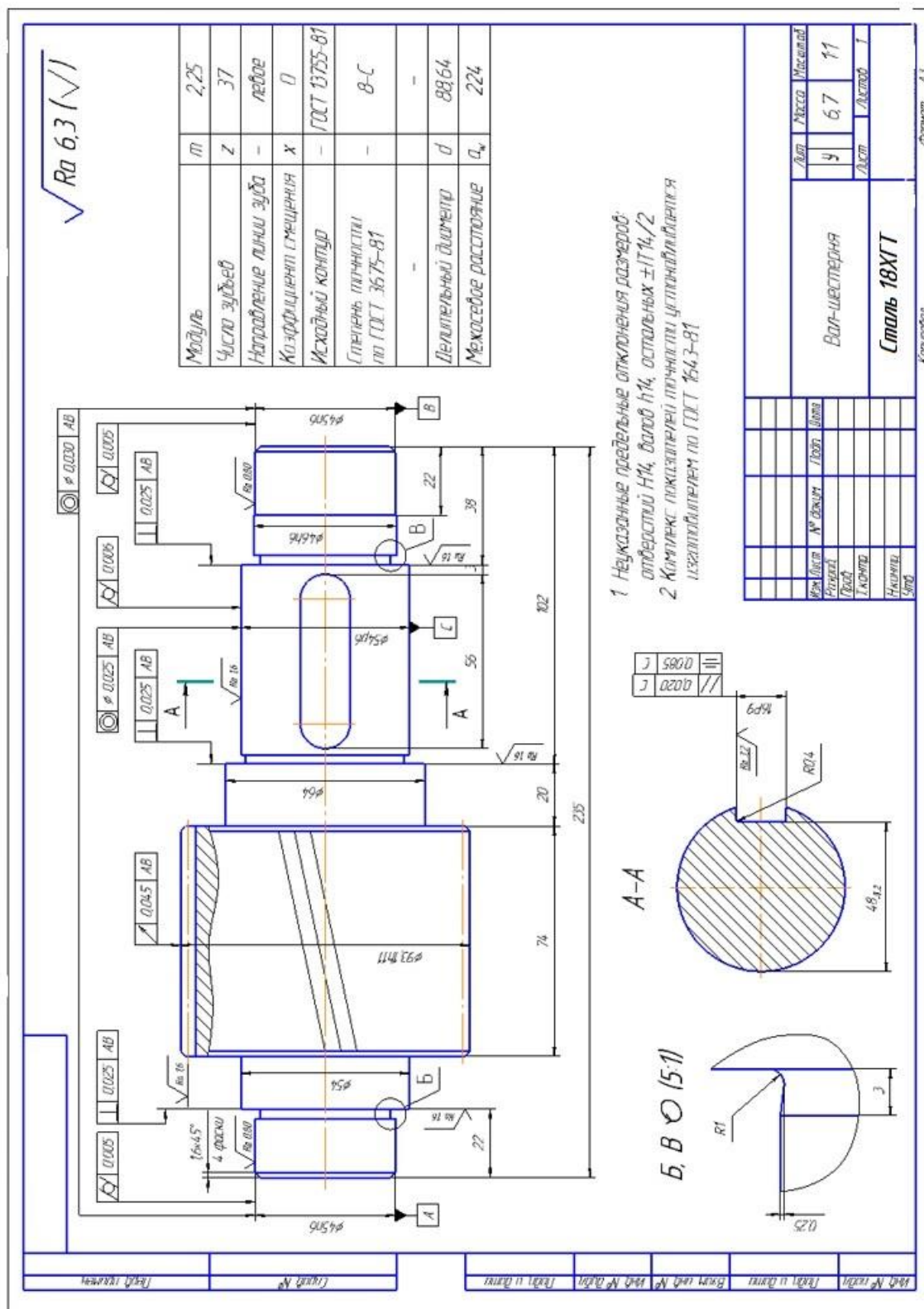
[http://lib.znau.edu.ua/jirbis2/images/phocagallery/2017/Pryklady_DS
TU 8302 2015.pdf](http://lib.znau.edu.ua/jirbis2/images/phocagallery/2017/Pryklady_DS_TU_8302_2015.pdf)

1. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М.: Металлургия, 1989. 640с.
2. Ульман И.Е., Тонн Г.А., Герштейн И.М. Ремонт машин: М.: Колос: 1982. 446с.
3. Зуев В. М. Термическая обработка металлов. М.: Высшая школа: 1976. 351с.
4. Шаврин О.И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин: М.: Машиностроение: 1983. 176с
5. Гаркунов Д. Н., Поляков А. А. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов : Машиностроение: 1973. 200 с.
6. Рутковский А. В. Циклическая долговечность титанового сплава ВТ1-0 с покрытием, полученным методом ионно-плазменного термоциклического азотирования (ИПТА): Полтава : Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво): 2012. с. 208-213.
7. Рутковский А. В. Износостойкость стали 40Х13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразивного изнашивания: Проблемы тертя та зношування: 2012. с. 240-250.
8. Костин Н.А. Технологические аспекты повышения стойкости штампового інструмента: Курский государственный университет. Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга»: 2018. 287 с.
9. Трусова Е.В. Особенности процесса химико-термической обработки с использованием термоциклирования стали: Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета: 2017. 254 с

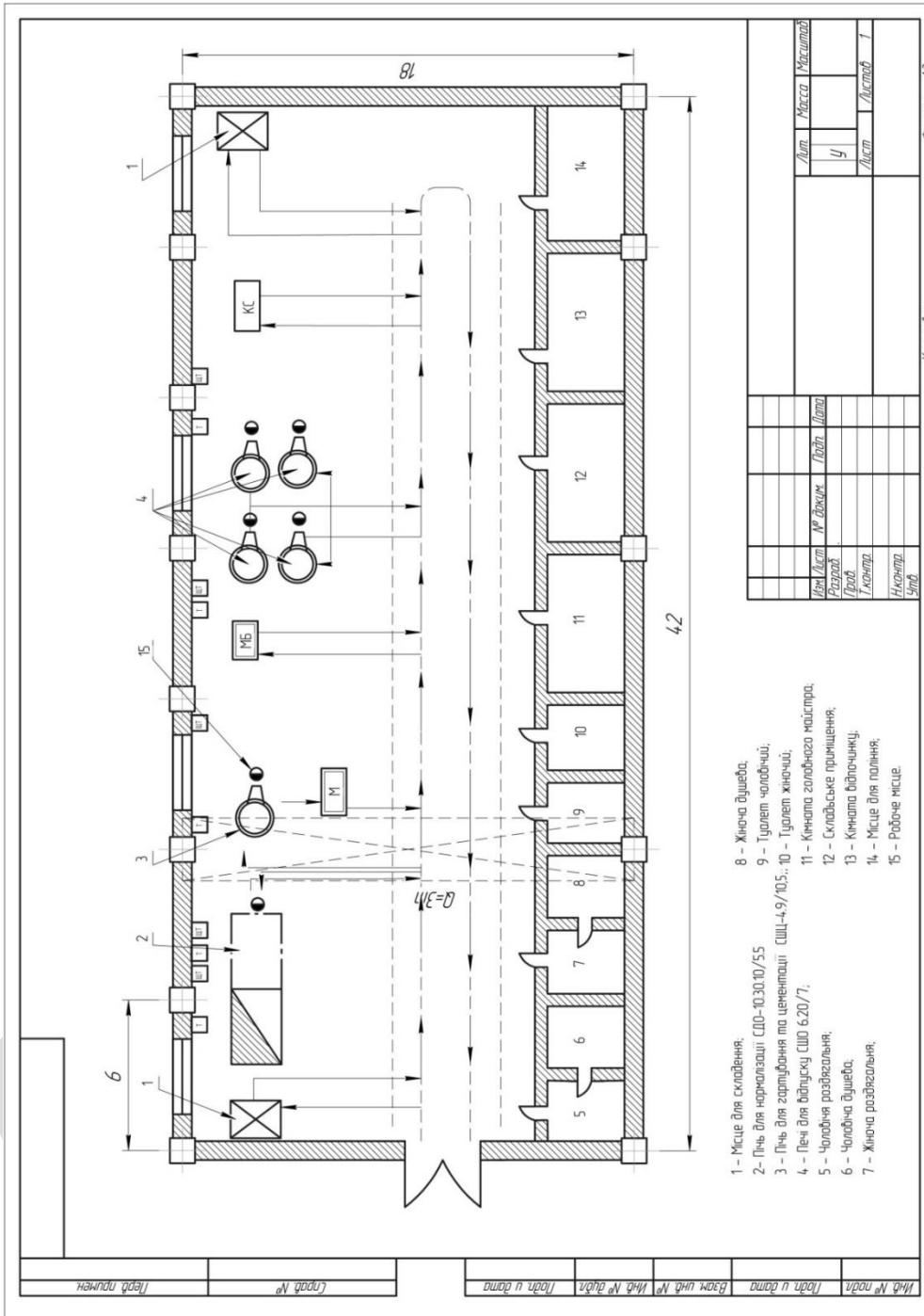
10. Бондаренко Г.Г. Рыбалко В.В., Кабанова Т.А. Материаловедение. М.: Машиностроение: 2013. 360 с.
11. Костин В. И. Колмыков Е. В. Газовая цементация стали 18ХГТ с использованием термоциклирования: 2018. 45 с.
12. Кудрин А. П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания: Вісник НАУ. – 2003. с. 111-114.
13. 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.
14. Гайдамак О. Л. Вузлі та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. Лабораторний практикум: Вінниця:ВНТУ,2006. 92 с.
15. Степанова Н.Н. Методы исследования материалов и процессов: учеб. пособие/. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ: 2006. 133 с.
16. Картонова Л. В. Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение» / Владим. гос. ун-т; Сост. Владимир: 2008. 98 с.
17. ГОСТ 1643-81 Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 1981-06-20]. Вид. офіц. Москва, 1981. 16 с. (Інформація та документація).
18. Щеглов О. М. Суглобов Р.В. Сагиров Ю.Г. Лаврик В. П. Проектирование одноступенчатых цилиндрических редукторов/ Мариуполь.: 2003-60с.
19. ГОСТ 1050-74 Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 1974-09-24]. Вид. офіц. Москва, 1974. 45 с. (Інформація та документація).
20. ОСТ 23.4.125-77 Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 1977-09-24]. Вид. офіц. Москва, 1974. 45 с. (Інформація та документація).
- 21.

22. Бернштейн М. Л., Займовский В. А. Механические свойства металлов: Изд. 2-е. — М. «Металлургия»: 1979. 456 с.
23. Мэзона У.Г. Физическая акустика: под ред.. Том 1. Методы и приборы ультразвуковых исследований — М.: Мир: 1966. 215 с.
24. ГОСТ 7505-89. Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 1989-03-15]. Вид. офіц. Москва, 1989. 45 с. (Інформація та документація).
25. А.В. Михайлов Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств: Старый Оскол.: ТНТ: 2010. 336 с.
26. Арзамасова Б.Н. Металловедение. Термическая и химикотермическая обработка сплавов:— М.: Изд-во МГТУ: 2003. 327 с.
27. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов.: М.: Наука: 1976. - 230 с.
28. Вейнберга Ф.Г. Приборы и методы физического металловедения: В 2 т. / Под ред. - М.: Мир: 1973. 430 с.
29. Гудцова Н. Т. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: Справочник. Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии: 1956. 1204 с.
30. Кіндрачук Ю. Н. Москаленко, О. В. Більченко, М. М. Бобіна, М. В. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування з курсу «Технологія, обладнання та проектування термічних цехів»: Видавництво «Політехніка»: 2002. 64 с.
31. Соколов К. Н. Оборудование термических цехов: Вища школа: 1984. 328 с.
32. Рустем С. Л. Оборудование термических цехов: Машиностроения: 1971. 288 с.

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б



- 1 - Місце для складання;
- 2 - Печь для нормализації СДП-10.30.10/55;
- 3 - Печь для гартування та цементації СШ-4/9/105.;
- 4 - Печь для відпуску СШ 6.20/7.
- 5 - Чоловіча роздягальня;
- 6 - Чоловіча душова;
- 7 - Жіноча роздягальня;
- 8 - Жіноча душова;
- 9 - Туалет чоловічий;
- 10 - Туалет жіночий;
- 11 - Кімната голубного майстра;
- 12 - Складське прибищення;
- 13 - Кімната відпочинку;
- 14 - Місце для поління;
- 15 - Робоче місце.

Лист № 1/11		Лист № 2/11		Лист № 3/11		Лист № 4/11		Лист № 5/11		Лист № 6/11		Лист № 7/11	
Титул	Масса	Титул	Масса	Титул	Масса	Титул	Масса	Титул	Масса	Титул	Масса	Титул	Масса
У		У		У		У		У		У		У	

Копія листів

Формат А3