

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 шестерні

Виконав студент:

Пузирьов Єгор Андрійович

Залікова книжка

№ 20510129

Підпис _____

Захищена з оцінкою

Оцінка, дата

Керівник:

Дегула Андрій Іванович

Підпис _____

Секретар ЕК

_____ Марченко К.С.

Прізвище, підпис

Суми 2023

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.

« ____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Пузирьову Єгору Андрійовичу, група МТ-91/0
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення і термічної обробки шестерні

2. Вихідні дані: Креслення шестерні 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 18.04.2023 р.

Керівник _____
(підпис)

доцент Дегула А.І.
(посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота складається з 63 сторінок, 6 розділів, 12 рисунків, 7 таблиць, 16 літературних джерел.

Мета роботи – обрати матеріал, маршрутну технологію виготовлення заготовки та термічної обробки деталі «Шестерня».

Завдання:

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

В ході роботи було проаналізовано умови роботи деталей зубчастих передач та сформульовано вимоги до матеріалів, з яких вони виготовляються. Обрана марка конструкційної спадково-дрібнозернистої сталі, розроблена маршрутна технологія виготовлення деталі «Шестерня», запропоновано режим термічної та хіміко-термічної обробки деталі. Після проведення всіх етапів термообробки було проведено дослідження структури сталі. В ході досліджень було обрано оптимальний варіант виготовлення деталі.

ШЕСТЕРНЯ, ТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ТЕРМООБРОБКА, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ, ТРИЕТАНОЛАМІН.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ	9
1.1. Характеристики деталі «Шестерня» та її призначення.....	9
1.2. Умови експлуатації виробу та вимоги до матеріалу	10
Висновки	16
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	15
2.1. Матеріали для виготовлення деталей зубчастих передач.....	15
2.2. Вуглецеві та леговані сталі.....	16
2.2.1. Сталі з середнім вмістом вуглецю, які піддаються термополіпшенню та нормалізації.....	18
2.2.2. Сталі, які проходять хіміко-термічну обробку та зміцнення поверхні	19
2.2.3. Безнікелеві економно леговані сталі.....	22
2.2.4. Азотовані леговані сталі.....	23
2.2.5. Сталі для поверхневого гартування з індукційного нагріву.....	23
2.3. Методи зміцнення деталей зубчастих передач	24
Висновки	27
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
3.1. Вибір матеріалу для виготовлення деталі.....	26
3.2. Вплив легуючих елементів на властивості сталей 40Х та 25ХГТ	28
3.3. Методи досліджень	31
3.3.1. Металографічні дослідження.....	31
3.3.2. Випробування металу на твердість	32
3.3.3. Дослідження на мікротвердість	34
Висновки	35
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ..	37
Висновки	41
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	43
5.1. Розробка альтернативного методу термічної обробки.....	43
5.1.1. Попередня термообробка	44

5.1.2. Зміцнююча термообробка	46
5.2.Розрахунок виробничої програми	49
5.3.Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання	49
5.3.1. Розрахунок основного обладнання.....	50
5.4.Проектування термічної ділянки.....	54
5.4.1. Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується.....	54
5.5.Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці	56
Висновки	57
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62

ВСТУП

Шестерня коробки передач (трансмисії) трактора - це механічна деталь, що використовується для передачі та регулювання швидкості і моменту обертання від двигуна до коліс трактора. Вона є однією з ключових компонентів трансмісії, що забезпечує переключення передач та передачу потужності від двигуна до приводу коліс [1-3].

Шестерні коробки передач трактора є одними з елементів зубчастих передач, які допомагають забезпечити передачу руху і потужності від двигуна до коліс трактора з використанням зубчастих механізмів і різних передаточних відношень.

Зубчаста передача – це механізм, який за допомогою зчеплення передає або перетворює рух із зміною кутових швидкостей і моментів. Їх використовують для передачі руху і обертаючого моменту в широкому діапазоні потужностей (до 300 МВт) і швидкостей (до 200 м/с), а також для перетворення обертального руху в поступальний і навпаки [4-5]. Вони застосовуються у:

- а) коробках передач;
- б) редукторах – закритих передачах, призначених для зниження частоти обертання і підвищення обертального моменту на вихідному валу;
- в) відкритих передачах (наприклад, лебідки);
- г) важко навантажених механізмах для піднімання та опускання шахтових вагонеток, бурильних труб тощо [6].

Шестерні коробки передач піддаються роботі в дуже важких умовах, таких як великі навантаження, значний момент обертання та високі швидкості. Вони повинні бути дуже міцними, зносостійкими та надійними, щоб витримувати такі навантаження протягом тривалого періоду. Також, вони повинні забезпечувати точність передачі потужності і бути мінімально шумними.

Основними перевагами зубчастих передач є: висока навантажувальна здатність і, як наслідок, малі габарити; велика довговічність і надійність роботи; високий ККД (до 0,98 в одному ступені); постійність передавального відношення (відсутність прослизання); можливість застосування в широкому діапазоні

швидкостей (до 150 м/с), потужностей (до десятків тисяч кВт) і передаточних відношень (до декількох сотень і навіть тисяч) [7].

Серед недоліків зубчастих передач можна відзначити підвищені вимоги до точності виготовлення, шум при великих швидкостях, високу жорсткість, що не дозволяє компенсувати динамічні навантаження [7].

Для виготовлення шестерень коробки передач використовуються високоякісні сталі або спеціальні сплави, які мають високу міцність, твердість та зносостійкість. Це можуть бути сплави з хромом, молібденом або нікелем, які забезпечують високу стійкість до механічних навантажень і забезпечують тривалий термін експлуатації шестерень. Крім того, додаткові обробки, такі як закалювання і шліфування, можуть бути застосовані для поліпшення міцності та точності шестерень[3].

Використання методів термічної та хіміко-термічної обробки є більш ефективним та економічним порівняно з використанням високолегованих сталей з кількох причин[5]:

1. Покращення механічних властивостей: Термічна обробка, така як закалювання, відпускання і поверхнєве азотування, дозволяє покращити механічні характеристики сталі. Це веде до збільшення міцності, твердості, зносостійкості і тривалості служби деталей. Замість використання високолегованих сталей, термічна обробка може підвищити властивості більш доступних матеріалів, що дозволяє знизити витрати на матеріал.

2. Контрольоване зміцнення: Термічна обробка дозволяє досягти контрольованого зміцнення деталей за допомогою належного вибору температур, часу нагрівання і охолодження. Це дозволяє точно налаштувати механічні властивості для відповідних потреб, забезпечуючи оптимальну комбінацію міцності і зносостійкості. Цей підхід може бути більш ефективним, ніж використання дорогих високолегованих сталей з високим вмістом сплавів.

3. Економія матеріалу: Використання високолегованих сталей з високим вмістом сплавів може бути дорогим. Використання термічної обробки дозволяє досягти потрібних механічних властивостей з меншим вмістом сплавів або навіть

звичайної сталі. Це зменшує витрати на матеріал і сприяє економічності виробництва.

4. Гнучкість процесу: Методи термічної та хіміко-термічної обробки надають більшу гнучкість у виборі оптимального матеріалу для виготовлення деталей. Замість обмеження використання дорогих високолегованих сталей, можна використовувати більш доступні матеріали, які після підходящої обробки можуть досягти потрібних механічних властивостей. Це відкриває можливості для зниження вартості виробництва та оптимізації процесів виготовлення.

5. Підвищена продуктивність: Використання термічної та хіміко-термічної обробки дозволяє досягти більш швидкого та ефективного зміцнення матеріалів порівняно з використанням високолегованих сталей. Процеси термічної обробки можуть бути швидшими та менш витратними з точки зору часу, що дозволяє збільшити продуктивність виробництва та знизити витрати на робочий час.

6. Відповідність вимогам: Методи термічної та хіміко-термічної обробки дозволяють досягти високої якості деталей та відповідати вимогам щодо їх міцності, твердості, зносостійкості та інших властивостей. Це дозволяє використовувати такі деталі в умовах високого навантаження та інтенсивного зносу, що є важливим у багатьох галузях, включаючи автомобільну, нафтогазову та важку промисловість.

Таким чином, використання методів термічної та хіміко-термічної обробки є більш ефективним та економічним в порівнянні з використанням легованих та високолегованих сталей. Отже мета цієї роботи вибір економічно обґрунтованого матеріалу та методів термічної та хіміко-термічної обробки для підвищення експлуатаційних властивостей шестерні коробки передач (трансмисії) трактора[2].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ

1.1. Характеристики деталі «Шестерня» та її призначення

Шестерня коробки передач (трансмисії) трактора - це механічна деталь, яка використовується для передачі потужності та керування рухом між двигуном трактора і його привідними колесами[2]. Трансмісія відповідає за вибір і передачу різних режимів передачі, що дозволяє змінювати швидкість і момент обертання приводного валу трактора. Ескіз деталі наведено на рисунку 1.1. Креслення деталі зображено в додатку А.

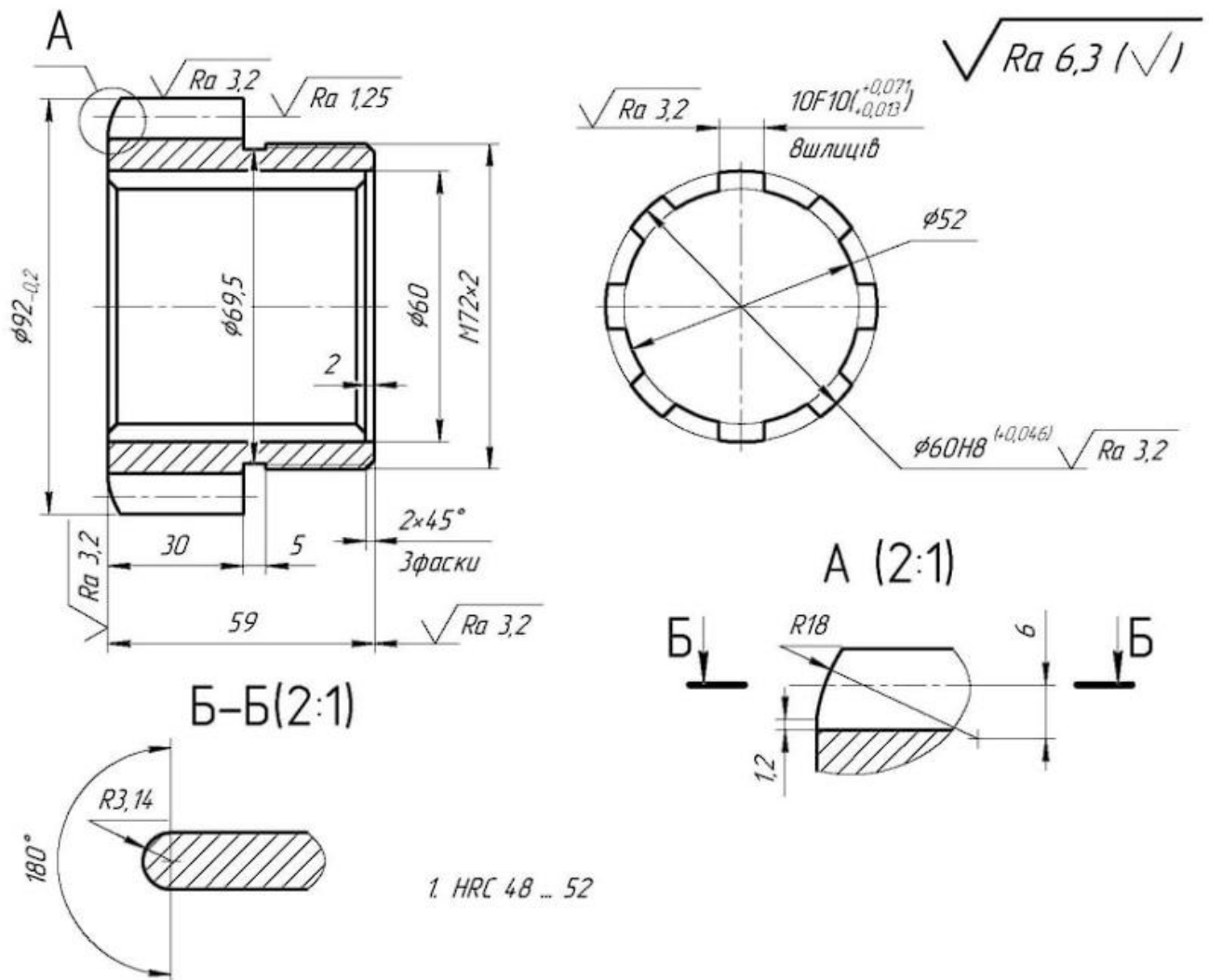


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Шестерня»

Основне призначення шестерні коробки передач (рис. 1.2) полягає в тому, щоб забезпечити оптимальне передавання обертального моменту від двигуна до коліс трактора. Шестерні в трансмісії використовуються для зміни швидкостей руху і передачі обертального руху на різні частини приводної системи.

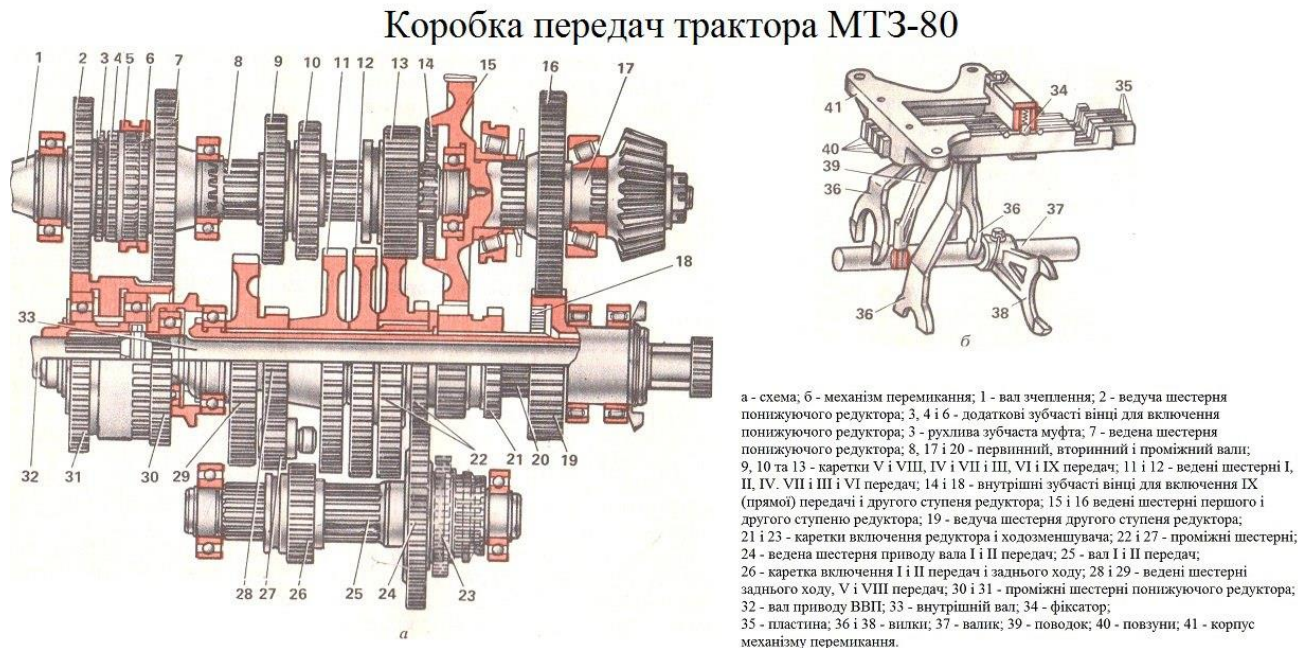


Рисунок 1.2 – Схема коробки передач трактора МТЗ -80[2]

Крім того, шестерні коробки передач допомагають забезпечити ефективну передачу потужності при різних умовах руху, таких як підйоми, спуски або робота з важкими навантаженнями. Вони дозволяють водію вибирати потрібну передачу для досягнення оптимального балансу між швидкістю та моментом обертання, що дозволяє ефективно використовувати потужність трактора в різних умовах роботи[3].

1.2. Умови експлуатації виробу та вимоги до матеріалу

Шестерня коробки передач трактора працює в досить важких умовах, оскільки трактори зазвичай використовуються для важких робіт у сільському господарстві та будівництві. Основні умови, в яких працює шестерня коробки передач трактора, включають[3]:

1. Великі навантаження: Трактори часто використовуються для переміщення важких навантажень, наприклад, вантажівок, причепів або сільськогосподарських машин. Шестерні коробки передач мають витримувати значні сили і моменти, які виникають під час цих робіт.

2. Різноманітні умови роботи: Трактори працюють на різних типах ґрунту, у тому числі на нерівних поверхнях, глибокому болоті, крутих підйомах та спусках. Шестерні коробки передач повинні працювати ефективно і надійно незалежно від умов ґрунту та нахилу.

3. Забруднення та вологість: В умовах сільськогосподарських робіт шестерні коробки передач трактора часто піддаються впливу забруднення, пилу, грязюки та вологи. Це може впливати на їх роботу та зносостійкість, тому необхідне належне утримання і обслуговування.

4. Часті зміни швидкостей: Трактори використовуються для різних робіт, що вимагають зміни швидкості руху. Шестерні коробки передач повинні бути розроблені таким чином, щоб забезпечувати плавну і швидку зміну передач без перекосів або пошкоджень.

Одним із важливих аспектів у роботі шестерень коробки передач трактора є їх надійність та витривалість. Вони повинні бути виготовлені з високоякісних матеріалів, а також проходити регулярне обслуговування та перевірки, щоб забезпечити оптимальну продуктивність і тривалість служби у важких умовах роботи[6].

На працездатність зуба вирішальний вплив роблять контактні напруження і напруження вигину біля основи зуба, які змінюються у часі по пульсуючому закону [11].

Важливою складовою силового режиму роботи зубів шестерень, що збільшує напруження є додаткове динамічне навантаження. Воно виникає через похибки їх виготовлення і збирання, а також через зношування профілів зубів і тим вище, чим нижча точність виготовлення коліс і більша швидкість обертання [11].

Контактні напруження і сила тертя є причиною пошкодження робочих поверхонь зубців: втомного викрашування, зношування і заїдання [14] (рис.1.3). Напруження вигину є причиною втомного руйнування (поломки) зубів.

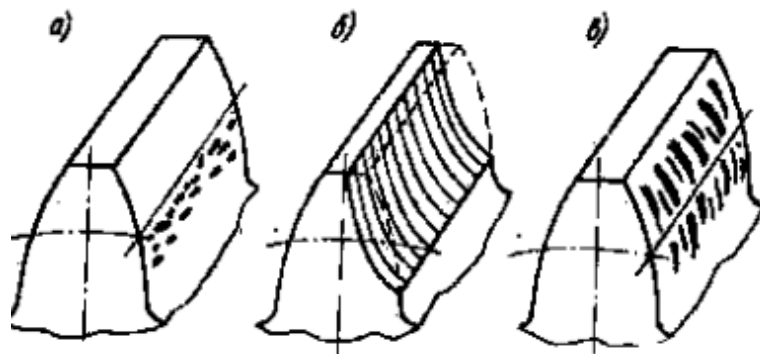


Рисунок 1.3 – Пошкодження поверхні зубів: а) втомне викрашування;
б) абразивний знос; в) заїдання

Забезпечення надійності зубчастих коліс пов'язане з уникненням пошкоджень та поломок зубів. Основні критерії надійності включають контактну витривалість, витривалість при згині, стійкість до зношування та заїдання[8].

Контактна витривалість визначається здатністю матеріалу стійко витримувати втомне викрашування, що є основним видом поверхневого пошкодження зубів. Це часто спостерігається у закритих передачах, які мають добре змащування.

Викрашування розвивається на ніжках зубців, починаючи з утворення мікротріщин втоми в у при поверхневому шарі. Після того, як тріщини виходять на поверхню, розвиток їх значно прискорюється під дією мастила. Прогресування тріщини призводить до відколювання шматочків металу та формування ямок. Ямки з часом розширюються і перетворюються в раковини. Раковини спотворюють профіль зубів, порушують нормальне зачеплення та збільшують динамічне навантаження, що може призвести до поломки зубів[9].

Підвищення контактної витривалості ґрунтується на збільшенні опору поверхневого шару зубів проти пластичної деформації та підвищенні його твердості.

Витривалість зубів при згині визначається здатністю матеріалу протистояти втомній полонці зуба. Зазвичай, тріщина втоми виникає біля основи зуба і поступово поширюється по всьому його тілу[10].

Зниження міцності зуба при згині зумовлене залишковими напруженнями розтягування, що виникають під час шліфування поглиблення. Ризиком також є наявність подряпин, рисок та інших зон, які концентрують напруження і негативно впливають на міцність зуба.

Стійкість до зношування. 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 [13-14]. Воно виникає, головним чином, при відсутності або недостатньому змащенні. 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 полонки зуба [5].

Якщо зубці шестерні сильно зносяться, це може мати наступні наслідки[12]:

1. Погіршення передачі потужності: Зношені зубці можуть призводити до неефективної передачі потужності, що може проявлятися в втраті обертового моменту і зниженні продуктивності трактора.

2. Підвищена шумова та вібраційна емісія: Зношені зубці можуть спричиняти збільшення шуму та вібрацій під час роботи трансмісії. Це може вплинути на комфорт водія та загальну якість роботи трактора.

3. Перебої в передачі передач: Зношені зубці можуть призводити до нестабільності і перебоїв у передачі передач. Це може проявлятися у скріпленні або пропуску передач, що ускладнює керування трактором та може вплинути на ефективність його роботи.

4. Пошкодження і поломка інших компонентів: Зношені зубці шестерні можуть спричиняти займання, заїдання або неправильне функціонування інших компонентів трансмісії. Це може призвести до їх пошкодження або навіть поломки.

Отже, зношення зубців шестерні може має наслідки для продуктивності, надійності та безпеки роботи трактора. Регулярна перевірка, обслуговування та заміна зношених зубців є важливими для забезпечення нормальної роботи трансмісії та підтримання ефективності трактора.

Стійкість до заїдання. Заїдання (адгезійне зношування) полягає в розвитку інтенсивного схоплювання чистих від мастила 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[14].

До заїдання найбільш схильні незагартовані поверхні. Через низьку твердість підкладки захисні окисні плівки під впливом високих тисків легко руйнуються, оголюючи чисті ділянки металу. Метал нагрівається, загартовані поверхні під впливом нагріву відпускаються і знеміцнюються. Тому для високонавантажених і високошвидкісних передач потрібно застосовувати для виготовлення зубчастих коліс теплостійкі сталі. Основні заходи попередження заїдання – застосування теплостійких сталей з високою твердістю поверхні [12].

Для запобігання втомного руйнування необхідно забезпечити дотримання наступних умов[13]:

- а) правильний вибір матеріалу;
- б) використання конструктивних форм, що не викликають значної концентрації напруг;
- в) вибір допустимих напружень відповідно до норм, що забезпечують достатній запас міцності з урахуванням втоми металу;
- г) забезпечення відповідного технічного контролю при виготовленні і збірці конструкції.

Для виготовлення шестерень, особливо зубчастих, висуваються деякі вимоги до матеріалів, з яких вони виготовляються. Основні вимоги включають[11-14]:

1. Висока міцність: Матеріали, використовувані для виготовлення шестерень, повинні мати достатню міцність, щоб витримувати великі навантаження і уникнути поломок або деформацій під час роботи.

2. Висока твердість: Шестерні мають стикатися з іншими зубчастими елементами і передавати потужність. Тому матеріали для шестерень повинні мати достатню твердість, щоб забезпечити зносостійкість і запобігти швидкому зношуванню зубців.

3. Висока тривалість роботи при високих температурах: У механізмах, де використовуються шестерні, можуть виникати високі температури від збільшеної швидкості і навантаження. Матеріали для шестерень повинні мати стабільність і тривалу роботу при підвищених температурах, щоб уникнути деформацій або втрати властивостей.

4. Добра змащувальна здатність: Шестерні мають працювати в умовах високого тиску і навантаження, тому матеріал повинен мати добру змащувальну здатність для забезпечення зменшення тертя і зносу між зубцями.

5. Достатня тривкість: Матеріали для шестерень повинні мати високу тривкість, щоб уникнути ламкості або тріщин при високих навантаженнях і ударних навантаженнях.

При виборі матеріалів для виготовлення шестерень зазвичай враховуються специфічні вимоги трансмісії, типу приводу і потужності системи, що допомагає забезпечити оптимальну працездатність та тривалість роботи шестерень у конкретному додатку.

Практикою експлуатації і спеціальними дослідженнями встановлено, що навантаження, що допускаються з умов 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 високонавантажених передач [5].

Висновки

В даному розділі охарактеризовано конструкцію та призначення виробу, а також проаналізовано умови його роботи. Встановлено, що:

1. Шестерня коробки передач є важливою деталлю трансмісії трактора. Вона виконує функцію передачі потужності та керування рухом між різними шестернями в системі передач.

2. Шестерня має велику відповідальність у забезпеченні правильного функціонування трансмісії. Якщо зубці шестерні сильно зносяться, це може призвести до зниження ефективності передачі, появи шуму, вібрацій або навіть поломки шестерні.

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

4. Матеріали, використовувані для виготовлення шестерень, повинні відповідати певним вимогам. Це включає високу міцність, твердість, тривалість роботи при високих температурах, змащувальну здатність та тривкість.

5. Вибір матеріалу для шестерень залежить від конкретних умов роботи, потужності системи та інших факторів, що впливають на працездатність трансмісії.

6. Шестерні потребують регулярного обслуговування та періодичної перевірки стану зубців, щоб вчасно виявити ознаки зносу і забезпечити їх правильну роботу та довговічність.

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

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1. Матеріали для виготовлення деталей зубчастих передач

Для виготовлення зубчастих коліс використовують сталі, чавуни, пластмаси та інші матеріали [6]. Найбільш високу працездатність зубчастих передач забезпечують сталі, які є основним матеріалом для їх виготовлення. Рідше застосовують чавуни, бронзи і пластмаси.

Щодо міцності та особливо ударної в'язкості, чавуни значно відстають від сталей, що вимагає збільшення розмірів шестерень, щоб компенсувати це. У виробництві коліс часто застосовуються сірі чавуни, такі як СЧ25, СЧ20, СЧ30, СЧ35, СЧ40, а також високоміцні чавуни, наприклад ВЧ45-5, ВЧ50-2 та інші.

Однак, для деталей передавальних механізмів можна використовувати пластмаси, такі як капрон та інші, особливо для коліс, які працюють при низьких швидкостях та малих ударних навантаженнях. Вони широко використовуються для приводу спідометрів, кіноапаратів, текстильних машин. Шестерні з пластмаси мають такі переваги, як відсутність вібрації і шуму, висока вібро- та корозійна стійкість у агресивних середовищах та низький коефіцієнт тертя[15].

Для виготовлення невеликих шестерень, які працюють у деяких агресивних середовищах, можуть застосовуватися сплави з міді, наприклад олов'яні або алюмінієві бронзи, такі як БрКЦ 4-4, БрОЦС 5-5-5, БрО 10, БрОЦСН 3-7-5-1, БрА7, БрАЖН 10-4-4.

Перевага їх полягає в тому, що деталі можна отримувати литтям. Ці сплави мають високу рідкотекучість і концентровану усадочну раковину, яку легко видалити [13, 14].

У зарубіжній літературі згадуються зубчасті втулки з металокераміки та нейлону, виготовлені в прес-формах. Для шестерень, що працюють

агресивних середовищах, таких як насоси для нафтової промисловості або насоси, що використовують на підприємствах хімічної промисловості, застосовують корозійностійкі сталі [8].

Матеріал і технологію термообробки (ТО) сталі призначають в залежності від умов роботи передачі і розмірів коліс [12].

2.2. Вуглецеві та леговані сталі

Навантаження, що допускається з умов контактної міцності зубів, визначається, в основному, твердістю матеріалу. Основний матеріал – термічно або хіміко-термічно оброблювані сталі. Термічну та хіміко-термічну (ХТО) обробку виконують для забезпечення високої поверхневої твердості зубців, від якої залежать їх контактна міцність, зносостійкість і протизадирні властивості (при збереженні в'язкої серцевини). При цьому, як правило, твердість шестерні на 20 - 50 одиниць (НВ) вища, ніж твердість колеса, що дає змогу при однакових матеріалах зменшити небезпеку заїдання та вирівняти ресурс зубців шестерні та колеса [6]. Піддаючи сталь однієї марки різній термічній обробці, можна отримати різні її механічні властивості, тому з метою скорочення номенклатури матеріалів для шестерні і колеса передачі зазвичай застосовують одну сталь різної термічної обробки.

Механічні характеристики сталей марок, найбільш часто використовуваних для виготовлення зубчастих передач, наведено в додатку Б.

Залежно від твердості сталеві зубчасті колеса та шестерні поділяють на дві групи:

- 1 – із твердістю $\leq 350\text{НВ}$, яку отримують після нормалізації або поліпшення;
- 2 – із твердістю $> 350\text{НВ}$, яку отримують після об'ємного гартування, гартування ТВЧ, цементації, азотування та ін.

Важливо знати, що зубчасті передачі цих груп різні за марками сталі, технологією обробки та зміцненням, за здатністю припрацювання і найголовніше – за навантажувальною здатністю.

Зубчасті передачі 1-ї групи використовують в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва за відсутності жорстких вимог до габаритів передачі при малих або середніх навантаженнях. Поліпшення коліс 1-ї групи виконується до нарізання зубців, що забезпечує їх високу точність без обробних операцій. Колеса цієї групи добре припрацьовуються і не піддаються крихкому руйнуванню при ударних навантаженнях [11, 13]. Але поліпшені і нормалізовані зубчасті колеса мають порівняно невисоку міцність, внаслідок чого передачі з такими колесами виходять відносно великих розмірів. Тому ці способи зміцнення зубів використовують в передачах, маса і габаритні розміри яких не обмежені [12].

Зубчасті передачі 2-ї групи є популярними у масовому та багатосерійному виробництві. В порівнянні з колесами 1-ї групи вони мають вищі значення допустимих контактних напружень і навантажувальну здатність, а також виявляють підвищену стійкість до зношування і заїдання. Термічна обробка (ТО) або хімічна термообробка (ХТО) зазвичай застосовуються після нарізання зубців, оскільки окремі види обробки, такі як об'ємне гартування або цементация, можуть призводити до деформації зубців. Щоб скоригувати форму зубців, колеса піддаються додатковим операціям, таким як шліфування, притирка і обкатування[6].

Для виготовлення деталей зубчастих з'єднань переважно використовуються низьколеговані і середньолеговані сталі з вмістом вуглецю від 0,12% до 0,45%. Для деталей зубчастих отворів часто використовують цементовані низьколеговані сталі, наприклад, 20Х, 20ХГНР, 18ХГТ для шестерень автомобілів і тракторів, а також 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА для важконавантажених передач. Застосовуються також низьколеговані загартовані сталі, наприклад, 40Х, 38ХС для ковзних вилок карданних валів, шестерень автомобілів, тракторів і верстатів. Зубчасті колеса виготовляються з низьколегованих (іноді вуглецевих) загартованих сталей, таких як 40Х, 38ХС або сталь 45. Також можуть застосовуватися сталі, що піддаються цементации[10].

При виборі марки сталі необхідно враховувати, що ефективність зубчастих передач залежить від твердості поверхні, особливо з точки зору контактної

витривалості. Збільшення твердості супроводжується підвищенням допустимих напружень, зменшенням габаритів деталей і загальною вагою передачі.

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

2.2.1. Сталі з середнім вмістом вуглецю, які піддаються термополіпшенню та нормалізації

Першу групу утворюють середньовуглецеві термополіпшовані і нормалізовані сталі з вмістом вуглецю до 0,50%. Для виготовлення деталей зубчастих передач можуть застосовуватися різні середньовуглецеві термополіпшовані і нормалізовані сталі, такі як 40, 45, 50, 40X, 45X, 40XH, 35XГСА, 40XФА, 35ХМА, БСт5, БСт6 та інші [10].

Переваги використання середньовуглецевих термополіпшованих і нормалізованих сталей для деталей зубчастих передач включають [10]:

1. Висока технологічність: Ці сталі добре оброблюються і мають хорошу зварювальність, що полегшує їх виготовлення та монтаж.
2. Міцність і довговічність: Вони забезпечують достатню міцність та стійкість деталей зубчастих передач під час роботи під навантаженням.
3. Здатність до термополіпшення: Ці сталі можуть бути піддані термічній обробці для поліпшення їх механічних властивостей, що дозволяє досягти більшої міцності та витривалості.

Недоліки використання середньовуглецевих термополіпшованих і нормалізованих сталей для деталей зубчастих передач включають [10-11]:

1. Обмежена навантажувальна здатність: Порівняно зі сталями вищої міцності, ці сталі можуть мати меншу навантажувальну здатність, що може обмежувати їх використання в деяких високонавантажених додатках.
2. Менша міцність при високих температурах: У випадку роботи деталей зубчастих передач при високих температурах, середньовуглецеві сталі можуть втрачати частину своєї міцності.

3. Обмежені властивості при високих швидкостях: При високих швидкостях обертання деталей зубчастих передач можуть виникати проблеми зі стійкістю до заїдання або зносу.

Враховуючи ці переваги та недоліки, вибір конкретної середньовуглецевої термополіпшуваної або нормалізованої сталі для виготовлення деталей зубчастих передач повинен залежати від вимог до навантажувальної здатності, робочих умов і технологічних можливостей виробництва [11].

2.2.2. Сталі, які проходять хіміко-термічну обробку та зміцнення поверхні

Другу групу становлять сталі з низьким вмістом вуглецю (до 0,3% C), які піддаються процесам цементації, нітроцементації та азотування, а також середньовуглецеві сталі (до 0,5% C), які зміцнюються поверхневим загартуванням. Однак, ці сталі є складнішими у технологічному відношенні, оскільки вимагають нарізання зубців до термічної обробки. Така обробка викликає значні зміни розмірів деталей і викривлення зубців, для усунення яких потрібні додаткові операції механічної обробки, такі як шліфування, притирання та обкатування. Ці сталі переважно використовуються у багатосерійному та масовому виробництві [15].

Сталі, які піддаються зміцненню поверхні цементацією та нітроцементацією, забезпечують найвищу контактну витривалість, а також міцність зубців при вигині і стійкість до заїдання. Вони застосовуються у виробках, де маса і розміри передач мають важливе значення. До цих сталей належать: 10, 15, 20, 15ХФ, 20Х, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 18ХНВА, 20ХНЗА, 18Х2Н4ВА, 20ХНР, АС14ХГН, АС20ХГНМ та інші [13, 17].

Ефективність зубчастих передач залежить від характеристик дифузійного шару та серцевини. Властивості дифузійного шару визначаються вмістом вуглецю або вуглецю та азоту, наявністю цементиту та залишкового аустеніту в поверхневих шарах, а при нітроцементації - карбонітридів, що містяться у мартенситі [16].

Легуючі елементи впливають на шар, змінюючи вміст вуглецю і утворюючи карбіди або карбонітриди. Присутність цих елементів також позитивно впливає на інтенсивність процесу науглецювання. Некарбідоутворюючі елементи, такі як нікель, кремній і інші, зменшують ступінь науглецювання, знижують окрихчування сталі, підвищують її ударну в'язкість і зменшують ризик холодноламкості[17].

Твердість поверхні цих сталей на готовому виробі становить HRC 58-63. Зберігаючи постійну твердість поверхні, контактна витривалість зростає зі збільшенням товщини зміцненого шару та твердості серцевини.

Товщина цементованого або нітроцементованого шару приймається рівною 0,1-0,15 мм від товщини зуба, або $(0,28 \text{ мм} - 0,007 \text{ мм}) + 0,2 \text{ мм}$, але не більше 2,0 мм. Твердість серцевини складає HRC 30-42[17].

Якщо міцність серцевини недостатня, можливе зісковзування зміцненого шару. Висока твердість ($>42 \text{ HRC}$) збільшує ризик крихкого руйнування зубів при вигині. Міцність зубів при вигині зростає зі збільшенням міцності серцевини, досягаючи максимуму при значенні $\sigma_v = 1290-1400 \text{ МПа}$, а також зниженні шорсткості поверхні біля основи зуба та формуванні залишкових напружень стискання[14].

При високих динамічних навантаженнях важливим є збереження високої в'язкості серцевини. Ця властивість найбільше притаманна низьковуглецевим сталям з додаванням нікелю.

Для досягнення залишкових напружень стискання біля основи зуба на рівні 1200-1500 МПа, механічно оброблені зубчасті передачі можуть бути піддані поверхневому зміцненню пластичним деформуванням, таким як обдування дробом, обкатка, роликівна обробка та ін[15].

Цементовані і нітроцементовані сталі можна класифікувати за іншими ознаками. Теплостійкі складнолеговані сталі зберігають високу твердість поверхні при нагріванні до 300°C , а хромонікелеві сталі мають високу прогартовуваність, міцність і в'язкість серцевини, що дозволяє їм стійко протистояти ударним

навантаженням. Обидва типи сталей використовуються для виробництва великих (150-160 мм) зубчастих передач відповідного призначення[16].

Використання цементованих і нітроцементованих сталей має кілька переваг:

1. Висока твердість поверхні: Ці сталі мають високу твердість на поверхні, що робить їх відмінними для застосування в зубчастих передачах. Висока твердість дозволяє забезпечити довгу контактну витривалість і опір зношуванню.

2. Висока міцність зубців: Міцність зубців зростає разом з міцністю серцевини сталі. Це сприяє покращенню здатності зубчастих передач витримувати великі навантаження та запобігати деформаціям або поломкам[18].

3. Залишкові напруження стискання: Поверхнєве зміцнення додає залишкові напруження стискання біля основи зуба. Це покращує стійкість до вигину і сприяє підвищенню міцності зубців.

4. Висока в'язкість серцевини: Низьковуглецеві сталі з додаванням нікелю мають високу в'язкість серцевини. Це сприяє збереженню міцності та зниженню ризику поломки при високих динамічних навантаженнях[10].

5. Підвищена контактна витривалість: Завдяки високій твердості поверхні і міцності зубців, цементовані і нітроцементовані сталі забезпечують підвищену контактну витривалість, тобто можуть витримувати тривалі навантаження без виникнення пошкоджень або зносу.

6. Великі зубчасті передачі: Ці сталі часто використовуються для виробництва великих зубчастих передач відповідного призначення, що вимагають високої міцності та витривалості[15].

Всі ці переваги роблять цементовані і нітроцементовані сталі привабливим вибором для важких промислових застосувань, де потрібна висока міцність, довговічність і стійкість до зношування.

До недоліків цих сталей належать висока вартість і складний цикл термообробки, який включає цементацію, високотемпературний відпуск, складне закалювання, обробку холодом і низький відпуск. Цей цикл термообробки призводить до значних деформацій валів і шестерень[13].

Для виготовлення коліс 5-6-го ступенів точності необхідне зубошліфування, що ускладнює технологію виготовлення цих деталей.

2.2.3. Безнікелеві економно леговані сталі

До третьої групи умовно відносять безнікелеві економно леговані сталі марки 18ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГР тощо, які застосовують в умовах масового виробництва, наприклад, в автомобілебудуванні, в агрегатах і апаратах хімічного, харчового і холодильного машинобудування. Вони дешевше хромонікелевих і обробляються за більш спрощеною технологією [19].

Недоліки використання безнікелевих економно легованих сталей для зубчастих передач[10]:

1. Нижча міцність порівняно з деякими нікелевими сплавами: Безнікелеві сталі можуть мати меншу міцність, що може обмежити їх застосування у деяких вимогливих умовах експлуатації.
2. Обмежена стійкість до корозії: Безнікелеві сталі можуть бути менш стійкими до корозії порівняно з нікелевими сплавами, особливо в умовах вологості, агресивних середовищ або високих температур.
3. Обмежені властивості при низьких температурах: Деякі безнікелеві сталі можуть мати обмежену міцність і в'язкість при низьких температурах, що може призвести до крихкого руйнування зубчастих передач.
4. Обмежені можливості для спеціальних вимог: У деяких випадках, де вимагаються висока стійкість до зношування, теплостійкість або спеціальні хімічні властивості, безнікелеві сталі можуть не задовольняти вимогам.

Враховуючи переваги та недоліки безнікелевих економно легованих сталей, вибір конкретної сталі для виготовлення зубчастих передач повинен бути здійснений на основі конкретних вимог до міцності, стійкості до зношування, корозійної стійкості та умов експлуатації.

Для виготовлення зубчастих передач на верстатах-автоматах використовують автоматні сталі, які містять 0,15-0,35% свинцю, завдяки чому добре обробляються різанням.

2.2.4. Азотовані леговані сталі

До четвертої групи відносяться азотовані леговані сталі. Леговані сталі, що містять алюміній і молібден, після азотування відзначаються найвищою твердістю поверхні (~1200HV) і стійкістю до зношування [19]. Крім того, азотований шар володіє високою теплостійкістю (до 500°C), що робить його найбільш стійким до заїдання. Шар також проявляє високі антикорозійні властивості. Шестерні, які зазнали азотування, можуть працювати тривалий час без ознак роз'їдання в слабких кислотних і лужних середовищах [10].

Недоліки цього процесу включають обмежену товщину дифузійного шару (~0,3 мм) і тривалість процесу (40-80 годин). Тонкі дифузійні шари ускладнюють застосування азотування на колесах з високими контактними навантаженнями через ризик продавлювання. Також через це азотовані сталі чутливі до ударних навантажень.

Зносостійкість азотованих деталей перевищує цементованих в 2-3 рази. Ось декілька марок сталей згідно з ГОСТ, які використовуються для виготовлення азотованих легованих сталей для зубчастих передач: 15ХМ, 18ХГТ, 20ХГ, 20ХМЛ, 38ХНЗМФА[12].

Мінімальне викривлення є важливою технологічною перевагою азотування, і процес вважається практично бездеформаційним. Зубчасті передачі 6-7-го ступенів точності можуть бути виготовлені без шліфування по зубу. Технологічний процес виготовлення азотованих деталей передбачає наступну послідовність дій: спочатку проводиться термополіпшення (гартування + високий відпуск) для зміцнення серцевини та отримання мікроструктури сорбіт і твердості HRC 28-32 по всьому перерізу деталі, а потім застосовується механічна обробка азотування[14].

2.2.5. Сталі для поверхневого гартування з індукційного нагріву

До п'ятої групи належать сталі для поверхневого гартування з індукційного нагріву, які складають дві особливі підгрупи. Перша підгрупа включає середньовуглецеві сталі, такі як 40, 45, 40 Х, 40ХН, 45ХН, 35ХМА та інші. Для

нагрівання зубів шестерень з цих сталей використовують струми високої частоти в індукторі. Глибина проникнення струму залежить від його частоти і забезпечує товщину загартованого шару до 3-5 мм. Під час інтенсивного охолодження загартування піддають лише поверхневі шари, які нагріваються вище критичних точок сталі. Серцевина залишається незагартованою через недостатнє нагрівання (HRC 20-30). Структура шару має дрібну будову, що знижує його крихкість, завдяки високій швидкості нагрівання. Для відповідальних виробів перед гартуванням з нагріванням ТВЧ заготовки піддають термополіпшенню на сорбіт [14, 19].

Друга підгрупа включає сталі зі зниженою прогартовуваністю, такі як 55ПП, 110ПП та інші. Зуби шестерень з цих сталей піддають наскрізному (глибинному) індукційному нагріву до температур вище критичних точок. Проте, загартування впливає лише на поверхневі шари товщиною 1,0-3,0 мм. Це пов'язано з низькою прогартовуваністю цих сталей через обмежений вміст домішок хрому, марганцю та кремнію. Ці сталі є відносно недорогими, забезпечують високу працездатність зубчастих передач і широко застосовуються замість цементованих сталей. Основна область їх застосування - зубчасті передачі малих і середніх розмірів з середнім навантаженням, які використовуються в автомобілебудуванні та верстатобудуванні[15].

Незначні деформації коліс з цих сталей відбуваються під час гартування, через що зубчасті передачі 7-8-го ступенів точності не потребують подальшого шліфування [10].

2.3. Методи зміцнення деталей зубчастих передач

Як було відзначено раніше, зубці деталей типу шестерня є найбільш вразливими до пошкоджень. Контактна міцність та стійкість цих зубців залежать від їх твердості. Висока твердість та міцність досягаються завдяки спеціальній поверхневій обробці, яка зміцнює їх, крім властивостей використовуваного матеріалу.

Існує кілька методів зміцнення деталей зубчастих передач. Основні методи зміцнення включають[14]:

1. Термічне оброблення: Цей метод включає різні процеси, такі як закалювання, відпуск, нормалізацію тощо. Закалювання дозволяє підвищити твердість і міцність матеріалу шляхом швидкого охолодження після нагрівання до високої температури. Відпуск відновлює пластичність матеріалу після закалювання і зменшує його крихкість. Ці процеси можуть бути використані окремо або комбіновано, залежно від потреб і властивостей матеріалу.

Об'ємне гартування є простим способом досягнення високої твердості. Використовуються вуглецеві та леговані сталі з вмістом вуглецю 0,35-0,60 %, що забезпечує твердість 45...55 HRC. Проте, цей метод має свої обмеження, такі як викривлення зубців та необхідність подальшої обробки. Тому часто застосовують поверхневі термічні та хіміко-термічні методи, що дозволяють зберегти міцність на згин та отримати високу поверхневу твердість[13].

2. Хімічне зміцнення: Цей метод включає введення додаткових елементів або сполук у матеріал для підвищення його міцності і твердості. Легування сталі додатковими елементами, такими як хром, молібден, ванадій, ніобій і титан, може покращити її механічні властивості.

Цементация є процесом, який вимагає значних зусиль та витрат. Однак, вона забезпечує дуже високу твердість, в діапазоні 58...63 HRC. Після цементации форма зубців може зазнати деформації. Для цементации використовують маловуглецеві леговані сталі, такі як 20X, 12ХНЗА та інші[18]. Ці леговані сталі забезпечують підвищену міцність серцевини, що запобігає пошкодженню крихкого поверхневого шару зубців при високих навантаженнях. Глибина цементации зазвичай становить 0,8-1,2 мм. Цей вид обробки дозволяє досягти високої контактної міцності та міцності на згин. Цементация часто застосовується для зубчастих коліс, особливо в транспортних засобах та авіації, де маса та габарити мають вирішальне значення [19].

Нітроцементация - це процес насичення шару сталі вуглецем в газовому середовищі. У порівнянні з цементацией, нітроцементация відрізняється

скороченою тривалістю і вартістю процесу, зміцнює тонкий поверхневий шар (товщиною від 0,3 до 0,8 мм) до твердості 60...63 HRC, зменшує жолоблення, що усуває необхідність подальшого шліфування. Нітроцементация є зручним методом в масовому виробництві і широко застосовується в редукторах загального призначення, автомобілебудуванні та інших галузях використання матеріалів, таких як 25ХГМ, 25ХГТ та інші[22].

3. Азотування: Цей процес включає насичення поверхні деталей зубчастих передач азотом, що покращує їх твердість і зносостійкість. Азотовані леговані сталі широко використовуються для виготовлення зубчастих передач у зв'язку з їх високою міцністю і зносостійкістю.

Азотування також забезпечує високу твердість поверхневого шару зубців (60...65 HRC). Мала товщина твердого шару (~ 0,1-0,6 мм) робить зубці чутливими до перевантажень та непридатними для роботи в умовах абразивного зносу. Ступінь викривлення зубців після азотування невеликий. Тому цей вид ХТО доцільно використовувати у тих випадках, коли важко шліфувати зубці. Азотуванню піддаються колеса із середньовуглецевих сталей, до складу яких входить алюміній (38ХМЮА, 42Х2Н2МФЮА та ін.)[8].

4. Обробка ультразвуком: Цей метод використовує високочастотні звукові хвилі для поліпшення мікроструктури матеріалу і зміцнення його поверхні. Обробка ультразвуком може покращити міцність, зносостійкість і тріщиностійкість деталей зубчастих передач.

5. Нано- та поверхневе покриття: Використання спеціальних покриттів або наноматеріалів на поверхні деталей може підвищити їх твердість, зносостійкість і міцність. Такі покриття можуть включати нітриди, карбіди або покриття на основі полімерів[5].

Ці методи можуть використовуватися окремо або в комбінації, залежно від конкретних вимог до деталей зубчастих передач і властивостей матеріалу. Вибір методу зміцнення залежить від конкретної ситуації, вимог до деталей і виробничих можливостей.

Висновки

В другому розділі розглянуто матеріали, які використовують для виготовлення деталей зубчастих передач (середньовуглецеві термополіпшовані і нормалізовані, безнікелеві економно леговані, азотовані леговані сталі, сталі для поверхневого гартування з індукційного нагріву та ін.).

Використання легованих сталей, таких як 20Х, 12ХНЗА, 25ХГТ може забезпечити підвищену міцність серцевини зубців і запобігти продавлюванню крихкого поверхневого шару при перевантаженнях. Ці сталі демонструють високі показники контактної міцності та міцності на згин.

Нітроцементация є ефективним методом поліпшення властивостей зубчастих передач. Вона забезпечує зміцнення тонкого поверхневого шару (зазвичай в межах 0,3-0,8 мм) до твердості 60-63 HRC. Цей метод має переваги у скороченні тривалості та вартості процесу, а також у зменшенні жолоблення, що дозволяє уникнути необхідності шліфування. Нітроцементация широко використовується в редукторах загального призначення, автомобілебудуванні та інших галузях.

Отже, використання легованих сталей у поєднанні з методами цементации та нітроцементации може поліпшити властивості шестерень та зубчастих передач, забезпечуючи підвищену міцність, твердість і зносостійкість. Вибір конкретного матеріалу та методу залежить від конкретних вимог до застосування та умов експлуатації виробу.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Вибір матеріалу для виготовлення деталі

Базове сільськогосподарське підприємство використовувало трактор, який був обладнаний шестерневою коробкою передач, в якій використовувалась сталь 40X для виготовлення шестерень.

На початку роботи все працювало добре, але з часом почали виявлятися проблеми. Шестерні почали погіршувати свою працездатність, а коробка передач стала працювати ненадійно. Це призвело до простою в роботі техніки та зменшення продуктивності робіт на полі та значущих економічних втрат.

Аналіз проблеми виявив, що сталь 40X не мала достатньої міцності та стійкості до зношування, що викликало зламання зубців та поломки шестерні коробки передач (трансмисії) трактора. Для підвищення експлуатаційних характеристик першим етапом застосовувалось поліпшення зносостійких властивостей шестерні шляхом гартування ТВЧ, однак виявилось, що поверхневе гартування не забезпечувало достатньої твердості та міцності для роботи в важких умовах експлуатації.

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

Використання сталі 25ХГТ з нітроцементациєю та подальшою термічною обробкою має кілька переваг порівняно з використанням сталі 40X для виготовлення шестерні коробки передач (трансмисії) трактора[18]:

1. Висока твердість поверхні: Нітроцементация дозволяє створити твердий і зносостійкий шар на поверхні сталі 25ХГТ. Це робить шестерню більш міцною і стійкою до зношування, забезпечуючи тривалий термін служби.

2. Покращена стійкість до зміщень: Висока міцність і твердість шестерні зі сталі 25ХГТ з нітроцементациєю забезпечують велику стійкість до зміщень, що є

важливим фактором для коробок передач трактора, які піддаються великим навантаженням.

3. Збільшена опірність до зношування: Шар нітридів та карбідів, утворений під час нітроцементації, забезпечує високу опірність до зношування шестерні. Це дозволяє підвищити тривалість роботи коробки передач перед необхідністю заміни або ремонту.

4. Покращена міцність при високих температурах: Сталь 25ХГТ з нітроцементацією має високу теплостійкість, що дозволяє зберігати свої механічні властивості при високих температурах. Це особливо важливо для трансмісій трактора, які можуть піддаватися значному нагріву під час роботи.

5. Покращена стійкість до корозії: Застосування нітроцементації на поверхні сталі 25ХГТ допомагає підвищити її антикорозійні властивості. Це важливо для деталей, які можуть бути піддані впливу вологи, рідин або інших корозійних середовищ.

Узагалі, використання сталі 25ХГТ з нітроцементацією для виготовлення шестерні коробки передач трактора дозволяє отримати деталь з покращеними механічними властивостями, стійкістю до зношування та високою тривалістю служби.

В табл. 3.1-3.3 наведені хімічні склади і механічні властивості базової заводський сталі 40Х та обраної нами сталі 25ХГТ.

Таблиця 3.1

Хімічний склад сталей 40Х та 25ХГТ (ГОСТ 4543-2016)

Марка сталі	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu	Fe
40Х	0.36 - 0.44	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.8 - 1.1	-	до 0,30	~96
25ХГТ	0,22-0,29	0,17-0,37	0,80-1,10	до 0,30	до 0,035	до 0,035	1,00-1,30	0,03-0,09	до 0,30	~96

Таблиця 3.2

Механічні властивості сталі 40Х

Термічна обробка	Межа плинності, (МПа)	Межа короточасної міцності, (МПа)	Мінімальна відносне подовження, %	Відносне звуження, %
Гартування від 860 °С в маслі, відпуску при 500 °С	785	980	10	45

Таблиця 3.3

Механічні властивості сталі 25ХГТ

ГОСТ	Стан поставки, режим термообробки	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ , %	KCU (кДж/м ²)	HRC _e , не більше
ГОСТ 4543-71	Прутки. Нормалізація 880-950°C, повітря. Гартування 850°C, масло. Відпуск 200°C, вода, масло або повітря	980	1270	10	50	69	
(Зразки)	Цементация 920-950°C, повітря. Гартування 840-860°C, масло. Відпуск 190-210 °С, повітря	1100	1500	9		60	поверхні 57-63

Таблиця 3.4

Температура критичних точок, °С

Марка сталі	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
40Х	743	782	693	730
25ХГТ	770	825	660	740

Застосування сталі 25ХГТ з нітроцементациєю в порівнянні зі сталлю 40Х може мати кілька економічних переваг[15-19]:

1. Збільшена тривалість служби: Сталь 25ХГТ з нітроцементациєю має високу міцність та стійкість до зношування, що дозволяє збільшити тривалість роботи шестерні перед тим, як заміна або ремонт стануть необхідними. Це може знизити витрати на обслуговування та заміну деталей.

2. Зменшення витрат на змащення: Застосування сталі 25ХГТ з нітроцементациєю може знизити витрати на змащення, оскільки вона має високу міцність та стійкість до зношування, що дозволяє зменшити необхідність у частішому змащенні або використанні дорогих мастил.

3. Зниження витрат на заміну деталей: Завдяки покращеним механічним властивостям та тривалій тривалості роботи, шестерні зі сталі 25ХГТ з нітроцементациєю можуть довше працювати без необхідності в заміні. Це дозволяє знизити витрати на придбання нових деталей та витрати на простій обладнання під час заміни.

4. Покращення продуктивності: Використання сталі 25ХГТ з нітроцементациєю може забезпечити більшу надійність та тривалість роботи трансмісії трактора. Це може позитивно вплинути на продуктивність трактора шляхом зниження часу простою на ремонт та заміну деталей.

В цілому, використання сталі 25ХГТ з нітроцементациєю може привести до зниження витрат на обслуговування, заміну деталей та підвищення продуктивності трактора, що в свою чергу може мати позитивний економічний вплив.

3.2. Вплив легуючих елементів на властивості сталей 40Х та 25ХГТ

Кожен легуючий елемент вводять у сталь для надання їй певних властивостей, необхідних для отримання якісного виробу, що забезпечить довгий термін роботи механізму [17].

Вуглець. Збільшення вмісту вуглецю до 1,2% призводить до підвищення міцності, твердості, порогу холодноламкості (при 0,1% С температура порогу холодноламкості зростає на 200°C), межі текучості, електричного опору і коерцитивної сили. Водночас, це спричиняє зниження щільності, теплопровідності,

в'язкості, пластичності, величин відносних подовжень і звужень, а також значення залишкової індукції[25].

Важливу роль відіграє той факт, що зміна фізичних властивостей має негативний вплив на ряд технологічних характеристик, таких як деформованість при штампуванні, зварюваність та інші. Наприклад, низьковуглецеві сталі мають задовільну зварюваність, тоді як зварювання середньо- і особливо високовуглецевих сталей вимагає використання підігріву, охолодження та інших технологічних операцій для запобігання утворенню тріщин[25].

Хром. Хром сприяє одержанню високої і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноламкості хромистих сталей складає 0-100 °С. Розчинність у фериті цього елемента обмежена. Розчинність в аустеніті становить 12,8 %. Хром підвищує міцність, твердість, коерцитивна сила фериту та знижує ударну в'язкість, магнітну індукцію і магнітну проникність. Хром утворює карбіди $Cr_{23}C_6$ і Cr_4C_3 . Хром підвищує точку A_1 , знижує точки A_3 і A_4 , зміщує точку S вліво. Також цей елемент знижує схильність зерна до зростання, дуже збільшує прогартовуваність. Хром дає дві зони найменшої стійкості аустеніту при 700-300 і 400-250°С. Він зменшує критичну швидкість загартування, знижує мартенситну точку M_n і збільшує кількість залишкового аустеніту. Хром значно підвищує стійкість до корозії і окислення, дуже збільшує зносостійкість і жаростійкість[26].

Молібден. Введення в хромові сталі Mo (0,15-0,45 %) підвищує прогартовуваність, знижує поріг холодноламкості до - 20-120 °С.

Молібден підвищує статичну, динамічну міцність від втоми сталі. Розчинність у фериті складає 5 % при 20 °С і 38 % при 1450 °С, в аустеніті – 3,5 %. Вплив даного елемента на властивості фериту характеризується підвищенням міцності і коерцитивної сили, зниженням магнітної індукції та магнітної проникності, не змінює пластичності. Молібден утворює фазу впровадження Mo_2C і карбідну сполуку Fe_3Mo_3C . Вплив молібдену на властивості аустеніту: підвищує точки A_1 і A_3 , знижує точку A_4 , зміщує точку S вліво. Він перешкоджає росту зерна, зменшує критичну швидкість загартування, дає дві зони найменшої стійкості аустеніту 350 і 600°С. Знижує мартенситну точку M_n і дещо

збільшує кількість залишкового аустеніту. Молібден зменшує схильність сталі до відпускнуї крихкості. Збільшує червоностійкість і підвищує схильність до знеуглецювання сталі. Підвищує температуру росту зерна аустеніту. Молібден зменшує схильність до відпускнуї крихкості другого роду[27].

Марганець. Марганець є аустенітоутворюючим елементом. Він знижує точки A_1 і A_3 і підвищує точку A_4 , точки C , S , E зсуває вліво. Марганець є карбідоутворюючий елемент. Він найбільш інтенсивно знижує ударну в'язкість, підвищує твердість і не впливає на температурний поріг холодноламкості. Марганець підвищує схильність сталі до зростання зерна аустеніту. Даний легуючий елемент найбільш ефективно збільшує стійкість переохолодженого аустеніту, підвищує розчинність у фериті. Марганець зсуває C -криві вправо. При введенні його в сталь він підвищує прогартовуваність. Марганець знижує точки M_n і M_k і збільшує кількість залишкового аустеніту. Карбідоутворюючий елемент сильно уповільнює розпад мартенситу, виділяючи з нього вуглець. Вміст марганцю до 2,5 % затримує коагуляцію, збільшує дисперсність карбідів і підвищує схильність до перегріву. Він найбільшою мірою затримує розпад залишкового аустеніту. При розпаді аустеніту залишкового на бейніт, цей легуючий елемент підвищує температуру відпуску, при якій протікає це перетворення [15].

Титан. Титан – тугоплавкий метал. Цей елемент є феритоутворюючим. Він підвищує точки A_1 і A_3 , і так само знижує точку A_4 , точки C, S, E зсуває вліво. Титан здатний до карбідоутворення. Підвищує температурний поріг холодноламкості. Він знижує схильність до зростання зерна аустеніту. При введенні його в сталь він знижує прогартовуваність. Титан знижує точки M_n і M_k , збільшує кількість залишкового аустеніту. Титан практично не розчинний у цементиті. Знижує схильність сталі до перегріву. Титан здатний до утворення інтерметалідів[27].

Сірка є шкідливою домішкою, що сприяє червоноламкості. У ледебуритних сталях негативна роль утворених сульфідів меншазавдяки присутності в структурі значно більшої кількості 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[25].

Фосфор також є шкідливою домішкою. При змісті фосфору більше ніж 0,02-0,03 % помітно знижується в'язкість і міцність, посилюються спотворення в решітці мартенситу[22].

3.3. Методи досліджень

3.3.1. Металографічні дослідження

Металографія – метод дослідження і контролю металевих матеріалів. Вона вивчає закономірності утворення структури металу, включаючи макроструктуру і мікроструктуру. Металографія також досліджує зміни фізичних властивостей металу, таких як механічні, електричні, магнітні та теплові, в залежності від змін у його структурі.

Мікроаналіз є одним з найчастіше використовуваних методів дослідження внутрішньої будови металів і сплавів. Завдання мікроаналізу різноманітні. Він дозволяє вивчити форму і розмір кристалічних зерен у металі, встановити внутрішні зміни, які відбуваються під впливом різних процесів, таких як теплова обробка, зварювання тощо. Мікроаналіз також дозволяє розрізнити зерна з різним хімічним складом[25].

Передумовою для всіх металографічних досліджень є виготовлення шліфів, які використовуються для мікроскопічного дослідження з використанням світлового або електронного мікроскопу. Виготовлення металографічних шліфів включає послідовні операції шліфування і полірування. Полірування проводять для усунення нерівностей поверхні без деформування металу.

Після підготовки шліфів можна переходити до хімічного травлення. Хімічне травлення використовується для виявлення меж зерен у металі. Після травлення зразки промивають і сушать[27].

Загалом, металографія та мікроаналіз є важливими методами дослідження металевих матеріалів, що дозволяють отримати інформацію про їхню структуру і властивості для подальшого аналізу та контролю. Для дослідження мікроструктури

застосовуються металографічні мікроскопи. Дослідження проводили на мікроскопі ММ-7 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Мікроскоп металургійний МІМ-7

Металографічний мікроскоп використовують для вивчення непрозорих тіл у відбитому світлі.

3.3.2. Випробування металу на твердість

Тривалість роботи деталей значно залежить від їхньої твердості, яка впливає на міцність деталі і стійкість її поверхні до зношування та пошкоджень.

Один із методів визначення твердості металів, зокрема сталі, є метод Бринеля. Цей метод вимірювання твердості регламентований за ГОСТ 9012-59.

Для проведення випробування твердості металів за методом Бринеля використовують спеціальний прилад типу ТШ, відомий як твердомір кульковий.

Для зручності і систематизації результатів вимірювання твердості за методом Бринеля існують таблиці, де вказані значення твердості в залежності від діаметра кульки D , діаметра відбитка d і навантаження P . Ці таблиці допомагають легко і точно визначити твердість досліджуваного матеріалу[21].

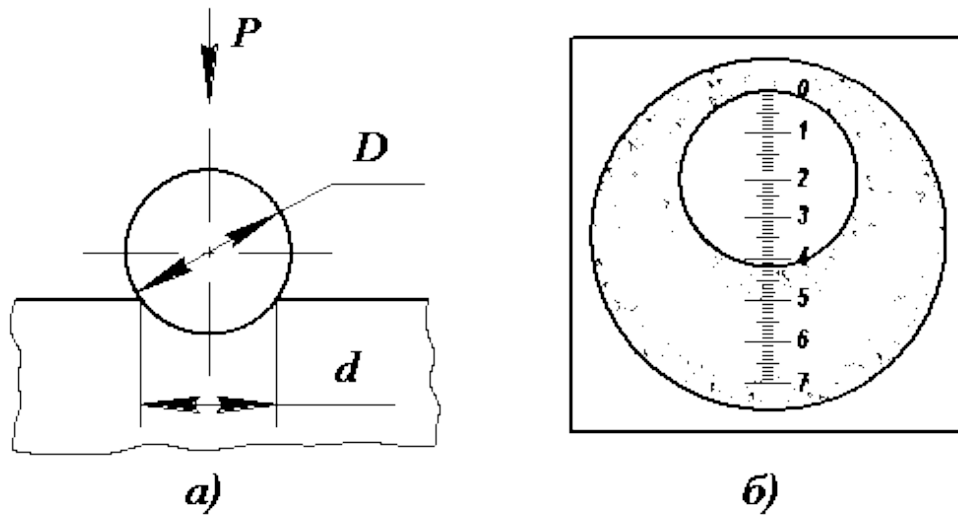


Рисунок 3.2 – Вимірювання твердості методом Бринеля: а – схема утворення відбитка; б – вимірювання діаметра відбитка

Твердість матеріалу визначається за допомогою методів Бринеля та Роквеллу, які використовують різні індентори та навантаження.

У методі Бринеля використовується сталева загартована кулька діаметром 10, 5 або 2,5 мм. Ця кулька вдавлюється у поверхню матеріалу під певним навантаженням, яке коливається від 153 до 29400 Н (від 15,6 до 3000 кг). На поверхні зразка утворюється відбиток у формі кульового сегмента діаметром d . Для вимірювання діаметра відбитка використовується спеціальний мікроскоп з вимірювальною шкалою, де поділки відповідають одній десятій долі міліметра. Діаметр відбитка визначається середнім значенням двох вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,05 мм. Отримане число є показником твердості за Бринелем, позначеним літерами НВ[25].

У методі Роквелла для вимірювання твердості використовують алмазний конус з кутом при вершині 120° або сталеву кульку діаметром 1,58 мм, які вдавлюються в досліджуваний об'єкт. Прилади для вимірювання твердості по методу Роквелла мають три шкали - А, В, С. Число твердості по Роквеллу вимірюється в умовних одиницях і відображає глибину втискування індентора під певним навантаженням. За шкалою А вимірюють твердість в межах 70-85 одиниць, за шкалою В - 25-120 одиниць, за шкалою С - 25-120 одиниць[26].

3.3.3. Дослідження на мікротвердість

Для визначення мікротвердості матеріалів застосовують спеціальні прилади, такі як мікроіндентори. Найпоширенішими приладами для вимірювання мікротвердості є прилади типу Віккерса.

У приладі типу Віккерса використовується індентор у формі піраміди з ромбічним перерізом. Індентор вдавлюється у поверхню матеріалу з відомим навантаженням, і після цього вимірюється діагональ вдавленого індентора за допомогою мікроскопа. Мікротвердість обчислюється за спеціальною формулою, яка враховує розміри індентора та виміряну діагональ[27].

Визначення мікротвердості нітроцементованого шару має велике значення у металургійних дослідженнях та промисловому виробництві. Цей шар формується на поверхні металевих деталей під час нітроцементування, і він має властивості, які відрізняються від базового матеріалу. Вимірювання мікротвердості нітроцементованого шару дозволяє оцінити його механічні властивості, такі як твердість і стійкість до зносу. Це допомагає контролювати якість процесу нітроцементування та забезпечує оптимальні характеристики.

Вимірювання товщини і мікротвердості шару, отриманого після операцій хіміко-термічної обробки проводили за допомогою приладу ПМТ-3 (рис. 3.3), точність 0,3 мкм. Прилад ПМТ-3 працює за принципом вдавлювання. Мікротвердість визначають втискуванням алмазної піраміди[20].

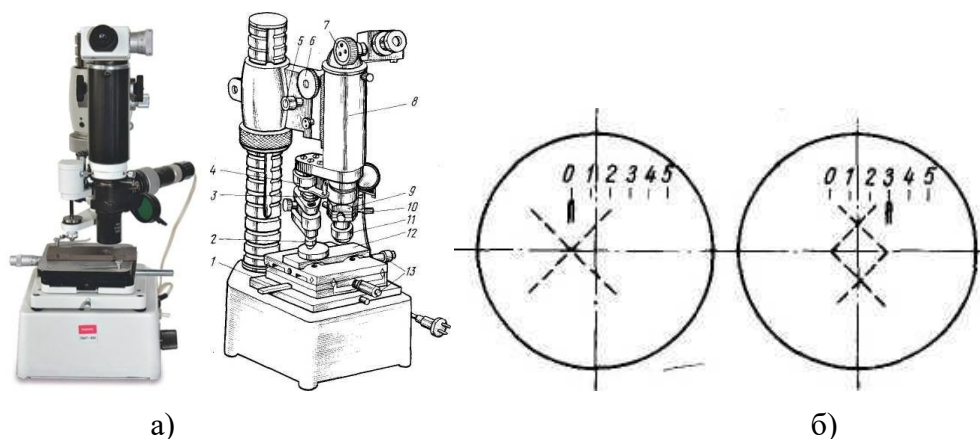


Рисунок 3.3 – Вигляд приладу ПМТ-3: а) схема приладу ПМТ-3 для виміру мікротвердості; б) схема виміру відбитків на приладі мікротвердост

Висновки

В третьому розділі обрано та обґрунтовано заміну сталей 40Х на 25ХГТ для виготовлення деталі «Шестерня». Заміна сталі пояснюється тим, що:

1. Твердість та мікротвердість матеріалу є важливими характеристиками, які впливають на тривалість роботи деталей, їх міцність і стійкість до зносу.

2. Сталь 25ХГТ має вищу твердість порівняно зі сталлю 40Х. Це означає, що вона може бути більш міцною та стійкою до спрацювання на поверхні.

3. Заміна сталі 40Х на сталь 25ХГТ може покращити тривалість роботи деталей, забезпечити більшу міцність і стійкість поверхні до спрацювання.

4. Застосування сталі 25ХГТ з нітроцементациєю в порівнянні зі сталлю 40Х може мати кілька економічних переваг. Перш за все, ця сталь має високу міцність та стійкість до зношування, що збільшує тривалість служби деталей і знижує витрати на їх обслуговування та заміну. Крім того, вона дозволяє зменшити витрати на змащення, оскільки не вимагає частого змащення або використання дорогих мастил. Надійність та тривалість роботи трансмісії підвищують продуктивність трактора, зменшуючи час простою на ремонт та заміну деталей. Загалом, застосування сталі 25ХГТ з нітроцементациєю може призвести до економічного збільшення тривалості роботи деталей, зниження витрат на обслуговування та заміну, а також підвищення продуктивності трактора.

Отже, заміна сталі 40Х на сталь 25ХГТ може бути обґрунтованою з метою поліпшення механічних властивостей, тривалості роботи деталей і стійкості поверхні до спрацювання.

Крім того, були запропоновані методи дослідження матеріалу на різних етапах його термічної обробки. Таким чином, металографічні дослідження включають аналіз макро- та мікроструктури за допомогою металургійного мікроскопу МІМ-7. Для вимірювання твердості використовують прилади типу ТК та ТШ, а також проводять вимірювання мікротвердості після хіміко-термічної обробки за допомогою приладу типу ПМТ-3.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Для виготовлення деталей на виробництві розробляється технологічний процес, який включає технічні, економічні та організаційні завдання, необхідні для виготовлення будь-якої деталі.

При розробленні технологічного процесу потрібно враховувати всі вимоги до деталі, створити креслення та технічні умови виготовлення з мінімальними витратами і низькою собівартістю.

У процесі розробки технологічного процесу створюється маршрутна технологія виготовлення деталі, яка включає:

- послідовність технологічних операцій від початку до кінця;
- необхідне обладнання для проведення цих операцій.

Маршрутна технологія виготовлення деталі "Шестерня" наведена у таблиці 4.1.

Маршрутна технологія виготовлення деталі - це сукупність послідовних операцій, які виконуються від початку до кінця виготовлення виробу.

Маршрутна технологія складається з таких етапів:

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

Маршрутна технологія виготовлення виробу

№ операц.	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо-видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо-видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конвертерна піч	Мульди, ковші

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку	Конверт. піч	Ковші шлаковози
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугове печі	Електродугов а піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугов а піч	Завальні машини
		6	Безперервне розливання	Установка безперерв. лиття	-
Етап 2. Отримання заготовки					
2.1	Отримання штамповки вала-шестерні	1	Нагрівання заготовки під гарячу обробку тиском	Термічна дільниця	Камерна піч
		2	Штапування у відкритому штампі	Пневматичний молот	Бойки, маніпулятор, штамп
		3	Контроль розмірів і шорсткості поверхні	Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
3.1	Попередня ТО	1	Нормалізація	Термічна дільниця	Камерна піч з висувним подом СДО -8.16.8/11,5
3.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю	Твердомір ТШ-2, індентор

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Етап 4. Механічна обробка					
4.1	Вхідний контроль якості	1	Ультра звукова дефектоскопія	Ультразвуковий дефектоскоп	-
4.2	Чорнова токарна обробка	1	Чорнове точіння контурів деталі поверхні	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
4.3	Фрезерування	1	Фрезерування пазів	Вертикально-фрезерний верстат	Набір фрез
4.4	Точіння	1	Виточування фаски	Токарний верстат	Набір різців
4.5	Зубофрезерна	1	Чорнове нарізання зубців	Зубофрезерний верстат	Черв'ячна модульна фреза
4.6	Чистова обробка	1	Чистове точіння контурів деталі	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
Етап 5. Остаточна термічна обробка					
5.1	ХТО	1	Нітроцементация з наступним гартуванням	Термічна дільниця	Шахтна цементацийна піч СШМЦ - 8.12/9,5
		2	Низький відпуск	Термічна дільниця	Шахтна піч для відпуску ПШО - 8.12/711
5.2	Контроль	1	Вимірювання твердості, аналіз мікроструктури після термічної обробки	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індентор, метал. мікроскоп

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Етап 6. Чистова механічна обробка					
6.1	Шліфування	1	Шліфування поверхні деталі у відповідності до креслення, надання деталі необхідної шорсткості	Кругло-шліфувальний верстат	Круг шліфувальний
		2	Полірування зубів	Полірувальний верстат	Круг полірувальний
Етап 7. Вихідний контроль					
7.1.	Вихідний контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба, фаскомір
		2	Контроль властивостей (твердість), ультразвукова дефектоскопія	Дільниця контролю	Твердомір, дефектоскоп

Висновки

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

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

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

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Розробка альтернативного методу термічної обробки

Термічна обробка деталей застосовується з різноманітними цілями і має кілька переваг, які сприяють покращенню властивостей матеріалів і деталей.

Термічна обробка може значно підвищити міцність матеріалу шляхом зміни його мікроструктури. Процеси, такі як гартування і відпуск, дозволяють досягти оптимального балансу між твердістю і міцністю, що дозволяє матеріалу стати більш стійким до деформації та зносу[28].

Термічна обробка може збільшити твердість матеріалу, що робить його відпорним на подряпини, знос та руйнування. Процеси, такі як цементація і нітроцементація, дозволяють отримати високу твердість поверхневого шару деталі, зберігаючи при цьому міцність серцевини.

Термічна обробка може допомогти усунути або знизити внутрішні напруження, які можуть виникати під час процесу виготовлення деталі або через нерівномірне охолодження. Це сприяє покращенню довговічності та стійкості деталей до тріщин та поломок[29].

Також вона може змінити структуру матеріалу, що впливає на його фізичні та механічні властивості. Наприклад, отримання більш однорідної зернистості, зменшення розміру зерен або впровадження специфічних фаз може покращити міцні.

Врахування особливостей сталі є важливим при виборі режимів термічної обробки. Різні типи сталі мають різні мікроструктури та хімічний склад, що впливає на їхні механічні властивості. Вибір відповідних режимів термічної обробки дозволяє досягти необхідної мікроструктури та властивостей, таких як твердість, міцність, пластичність і стійкість до зносу[30].

Деякі типи сталі можуть бути більш чутливими до змін температури та часу термічної обробки. Неправильний вибір режимів може призвести до небажаних

наслідків, таких як великі зміни в мікроструктурі, зміна механічних властивостей або поява дефектів.

Деякі типи сталі можуть бути більш схильними до певних проблем, таких як виникнення тріщин або деформація під час термічної обробки. Врахування цих особливостей допомагає попередити можливі ризики і вибрати відповідні методи обробки для запобігання таким проблемам[21].

Отже, врахування особливостей сталі під час вибору режимів термічної обробки допомагає досягти бажаних механічних та фізичних властивостей, уникнути негативних наслідків і забезпечити оптимальну якість та надійність деталей.

При термічній та хромо-термічній обробці деталей зі сталі 25ХГТ важливо враховувати такі особливості цієї сталі[22]:

1) висока схильність до знеуглецювання: Для запобігання знеуглецювання на деталях перед термічною обробкою залишають значний припуск (до 3 мм), який потребує обробки на металорізальних верстатах для видалення знеуглецьованого шару.

2) вплив хрому на відпускну крихкість: Присутність хрому підвищує схильність сталі до відпускнуї крихкості другого роду. Тому рекомендується застосовувати низький відпуск.

3) зростання зерна аустеніту при незначному перегріві під загартування: Сталь 25ХГТ має схильність до зростання зерна аустеніту при незначному перегріві під загартування. Тому необхідний суворий контроль температури нагрівання для забезпечення бажаної мікроструктури та властивостей..

5.1.1. Попередня термообробка

Мета попередньої термічної обробки, також відомої як підготовча термічна обробка, полягає в створенні певної мікроструктури і властивостей матеріалу перед основною термічною обробкою. Вона виконується перед гартуванням, відпуском

або іншими видами термічної обробки залежно від потреб і вимог до кінцевих властивостей деталі[27].

Попередня термічна обробка дозволяє зменшити внутрішні напруження в матеріалі, що можуть бути накопичені внаслідок попередніх процесів, наприклад, плавлення, ковки, зварювання. Це допомагає запобігти деформації або тріщинам під час основної термічної обробки. Може сприяти формуванню більш м'якого зерна в матеріалі, що поліпшує його оброблюваність та здатність до подальшої обробки. Це особливо важливо для матеріалів, які піддаються механічній обробці, наприклад, фрезеруванню або токарній обробці[30].

Також попередня термічна обробка може допомогти забезпечити більш однорідну мікроструктуру та властивості в матеріалі. Це може бути досягнуто шляхом вирівнювання температури, часу утримання при попередній обробці, а також рівномірного охолодження.

Отже, мета попередньої термічної обробки полягає в підготовці матеріалу для подальшої термічної обробки шляхом зміни його мікроструктури, властивостей та внутрішніх напружень, забезпечення однорідності та видалення забруднень.

Під час попередньої термічної обробки сталі 25ХГТ застосовується процес нормалізації, який включає нагрівання матеріалу до температури в діапазоні 855-875 °С, утримання при цій температурі для отримання однорідної дрібнозернистої структури, а після цього повільне охолодження на спокійному повітрі. Цей процес покликаний поліпшити механічні властивості сталі, зокрема пластичність і ударну в'язкість, шляхом формування структури, що складається з фериту та перліту. Зображення структури сталі 25ХГТ можна знайти на рисунку 5.1.

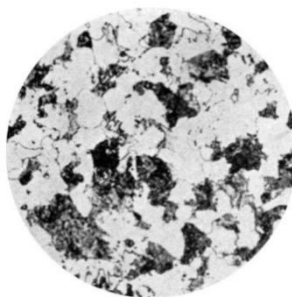


Рисунок 5.1 – Структура сталі 25ХГТ після нормалізації (x500)

Після нормалізації, сталь досягає твердості в діапазоні 217-230 НВ, що дозволяє проведення механічної обробки.

5.1.2. Зміцнююча термообробка

Заради досягнення високої міцності та стійкості до зношування зубців шестерні, ми використовуємо процес, відомий як нітроцементация. Цей процес включає одночасне насичення сталі вуглецем і азотом в спеціальному середовищі, що складається з науглецювального газу та аміаку [22]. Газова нітроцементация є новітнім застосуванням у промисловості, але завдяки своїм перевагам, вона витісняє як рідинну ціанування, так і газову цементацию.

Переваги газової нітроцементации включають[30]:

1. Висока якість поверхні: Газова нітроцементация дозволяє досягти високої якості поверхні деталей, забезпечуючи одночасне насичення сталі вуглецем і азотом. Це покращує міцність, зносостійкість і тривалість служби деталей.

2. Глибоке насичення: Газова нітроцементация може забезпечити глибоке проникнення вуглецю і азоту в сталь, що дозволяє досягти високої твердості і міцності на значній глибині від поверхні деталі.

3. Контрольовані параметри: Газова нітроцементация дозволяє точно контролювати параметри процесу, такі як температура, склад середовища і тривалість обробки. Це дозволяє досягти бажаних властивостей матеріалу з високою точністю і повторюваністю.

4. Екологічна безпека: В порівнянні з рідинним ціануванням, газова нітроцементация є більш екологічно безпечним процесом, оскільки не використовує шкідливі рідинні речовини.

5. Ефективність: Газова нітроцементация може бути ефективним процесом, який дозволяє проводити обробку багатьох деталей одночасно, знижуючи витрати часу і зусиль.

У порівнянні з цементациєю, нітроцементацию проводять при нижчих температурах, в діапазоні 860-880 °С. Це пояснюється тим, що азот, який проникає в сталь одночасно з вуглецем, знижує температуру, при якій утворюється тверде розчинне сполука на основі Fe_γ , і таким чином полегшує вуглецювання сталі при більш низьких температурах. Власне, азот, виступаючи як легуючий елемент, знижує критичні точки сталі. Зниження температури насичення без збільшення тривалості процесу допомагає зменшити деформації оброблюваних деталей.

Для здійснення нітроцементации рекомендується використовувати контрольовану ендотермічну атмосферу, до якої додають 3-15% невикористаного природного газу та 2-10% NH_3 або рідкий карбюратор - триетаноламін $(C_2H_5O)_3N$, який вводиться у вигляді крапель у робочий простір[28].

Зазвичай нітроцементации піддаються леговані сталі з вмістом вуглецю до 0,25%. Тривалість процесу складає 6 годин. Товщина нітроцементованого шару становить 0,6 мм. Після нітроцементации проводиться загартування безпосередньо в печі шляхом швидкого охолодження до 800-820 °С.

Головною метою гартування є отримання сталі з високою твердістю, міцністю, стійкістю до зношування та іншими важливими властивостями, що підвищують експлуатаційну надійність і довговічність оброблюваних деталей та інструменту [18]. Гартування здійснюється з витримкою 15-20 хвилин при температурі 800-820 °С, після чого процес охолоджується у маслі[29].

Під час нагрівання до температури гартування весь вуглець розчиняється в залізі, і отримується розчин вуглецю в залізі з гранецентрованою кубічною (ГЦК) решіткою - аустеніт. Швидке охолодження не дає часу на дифузію і призводить до утворення нової структури - мартенситу (рис. 5.2), а не суміші фериту і перліту.



Рисунок 5.2 – Мікроструктура нітроцементованої сталі 25ХГТ (x200)

Мартенсит, який утворюється у вигляді пластин з тетрагонально вигнутою ОЦК решіткою, є новою фазою. Твердість сталі після гартування становить 58-60 HRC. Гартована сталь є твердою, але крихкою, оскільки утворення мартенситу створює внутрішні напруження. Для зняття цих напружень застосовується процес відпуску.

Відпуск проводять при температурі 160-180 °С з подальшим охолодженням на повітрі. Цей процес дозволяє знизити внутрішні напруги у металі, підвищити його міцність і трохи покращити в'язкість, при цьому твердість сталі дещо зменшується. Загартована сталь має високу стійкість до зношування. Тривалість відпуску зазвичай становить 6-8 годин[28].

Структура сталі на поверхні складається з мартенситу відпуску та карбонітридів, а твердість становить 56-58 HRC (рис. 5.3). Серцевина містить відпущений тросто-сорбіт, який має твердість 269 НВ.



Рисунок 5.3 – Мікроструктура основи сталі 25ХГТ після відпуску (x200)

Графік запропонованої термічної обробки наведено в додатку Г.

5.2. Розрахунок виробничої програми

У термічному цеху необхідно забезпечити таке розташування обладнання, щоб усі печі, мийні машини та гартувальні баки були доступні та не заставлені, і між ними був вільний простір. Особливу увагу слід звернути на широкі та вільні проходи біля дверей печей та на шляху до гартівних баків.

Усе обладнання поділяється на три групи: основне, додаткове та допоміжне.

Основне обладнання використовується для виконання технологічних операцій з нагрівання та охолодження деталей, пов'язаних з термообробкою. Це включає печі, нагрівальні установки та охолоджуючі пристрої[26].

Додаткове обладнання використовується для виконання додаткових технологічних операцій у термічному цеху, таких як правка та очищення деталей. Це можуть бути правильні преси та очисні установки, включаючи травильні ванни, дробоструйні апарати та мийні машини.

Допоміжне обладнання включає установки для приготування карбюратора та контрольованих атмосфер, підйомно-транспортне обладнання, теплоенергетичне обладнання (наприклад, апарати для охолодження гартувальної рідини), санітарно-технічне обладнання (наприклад, витяжки), повітродувки та вентилятори[28].

При виборі основного обладнання слід провести аналіз використовуваного на заводі обладнання, обговорити його переваги та недоліки. Також слід врахувати продуктивність, якість термообробки та ступінь механізації та автоматизації різних типів обладнання.

5.3. Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання

Розрахункова кількість одиниць обладнання K_p , необхідне для виконання програми:

Маса деталі: $m = 0,9$ кг.

Річний випуск продукції становить 18 000 кг.

Кількість деталей, що випускаються за рік – $18\,000 / 0,9 = 20\,000$ шт / рік.

Зведену відомість розподілу програми за операціями наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Відомість розподілу програми за операцією, т

Назва деталі	Назва операції		
	Нормалізація	Нітроцементация+Гартування	Низький відпуск
Шестерня	21 600 кг	18 000 кг	18 000 кг

Дану деталь потрібно піддавати ХТО. Режим роботи термічної ділянки буде 1-но змінний.

Річний фонд ефективного часу роботи обладнання залежить від встановленого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу на ремонт і переналагодження обладнання та розраховується за формулою:

$$\Phi_{\text{д}} = (365 - \text{В} - \text{П}) * 3 * t * K_{\text{р}}, \quad (5.1)$$

Де $\Phi_{\text{д}}$ - дійсний річний фонд часу обладнання, год;

В - кількість вихідних днів на рік (за вирахуванням вихідних, співпадають зі святковими днями);

П - кількість святкових днів у році;

С - кількість змін у добі;

t - середня тривалість однієї зміни.

Таким чином, $\Phi_{\text{д}}$ для 2-но змінного режиму роботи дорівнює 3616 годин.

5.3.1. Розрахунок основного обладнання

Розрахунок необхідної кількості обладнання виконується за формулою 5.2, де необхідне обладнання розраховується за відношенням необхідної кількості годин для виконання виробничої програми до дійсного річного фонду часу.

$$K_{\text{р}} = E_{\text{і}} / \Phi_{\text{д}} = \Pi_{\text{і}} / (P_{\text{і}} * \Phi_{\text{д}}). \quad (5.2)$$

Так як я вибираю однозмінний робочий день:

- $\Phi_{\text{д}} = 1808$ годин;

- Де E_i – необхідна кількість годин для виробничої програми для відповідного виду термічної обробки виробу i -го найменування.

$$E_i = \Pi_i / P_i. \quad (5.3)$$

Де:

- Π_i - річна виробнича програма по відповідній операції оброблюваної деталі i -го найменування;
- P_i - годинна продуктивність одиниці обладнання при відповідній операції обробки деталей i -го найменування.

$$P_i = M_i / \tau_i. \quad (5.4)$$

Де:

- M_i - маса садки деталі i -го найменування
- τ_i - нормування часу обробки однієї садки деталей i -го найменування

Маса деталі до механічної обробки буде 1,08 кг.

1) Для нормалізації обираємо камерну піч типу:

Піч СДО 8.16.8/11,5 (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 – Електрична камерна піч типу СДО 8.16.8/11,5

$\Pi_0 = 21\ 600$ кг;

$\Phi_d = 1808$ год;

$\tau_H = 2$ години (нагрівання до заданої температури 1,5 год, прогрівання деталі – 15 хв, фазові перетворення 1,5 хв на 1мм товщини виробу).

Кількість садки - 128 штук.

$$M_O = 1,08 * 128 = 138 \text{ кг}$$

$$P_O = M_O / \tau_O = 138 / 2,5 = 55,2 \text{ кг / год}$$

$$K_p = 21\,600 / (55,2 * 1808) = 0,22$$

$$\eta = (0,22 / 1) * 100\% = 22\% - \text{Обираємо 1 піч.}$$

З розрахунку видно що завантаженість печі є не дуже високим, однак вибір такої печі аргументований її високою універсальністю. Габаритні розміри печі, дозволяють проводити в ній термічну обробку і більш габаритних деталей, що є вкрай важливим, для підприємства, що виробляє сільськогосподарську техніку та комплектуючі.

2) Для ХТО та гартування обираємо шахтну піч типу:

Піч СШМЦ 8.12 / 9,5 (рис 5.5). Креслення печі наведено в додатку Д.

$P_{\Gamma} = 18\,000 \text{ кг}$; $\Phi_{\text{д}} = 1808 \text{ годин}$; $\tau_{\Gamma} = 8 \text{ годин}$, кількість садки - 80 штук.

$$M_{\Gamma} = 0,9 * 80 = 72 \text{ кг}$$

$$P_{\Gamma} = M_{\Gamma} / \tau_{\Gamma} = 72 / 8 = 9 \text{ кг / год}$$

$K_p = 18\,000 / 9 * 1808 = 1,11$ - Обираємо 2 печі

$$\eta = (1,11 / 2) * 100\% = 55,3\%$$



Рисунок 5.5 – Фото печі СШМЦ 8.12/9,5

3) Для низького відпуску обираємо шахтну піч типу:

Піч ПШО 8.12/7П1 (рис. 5.6).

$P_{\text{ВН}} = 18\,000 \text{ кг}$; $\Phi_{\text{д}} = 1808 \text{ годин}$; $\tau_{\text{ВН}} = 4 \text{ години}$; кількість садки - 80 штук.

$$M_{\text{ВН}} = 0,9 * 80 = 72 \text{ кг}$$

$$P_{BH} = M_{BH} / \tau_{BH} = 72 / 4 = 18 \text{ кг / год}$$

$$Kp = 18\ 000 / 18 * 1808 = 0,554 - \text{Обираємо 1 піч.}$$

$$\eta = (0,554 / 1) * 100\% = 55\%$$

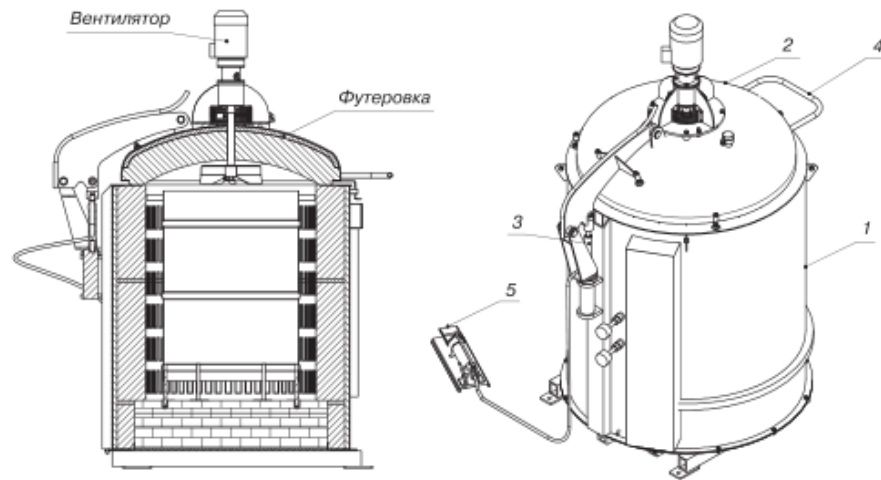


Рисунок 5.6 – Схема електричної відпускної шахтної печі типу ПШО8.12/7П1: 1 – каркас печі, 2 – кришка, 3 – гідроциліндр, 4 – ручка, 5 – гідронасос

Таблиця 5.2

Печі термічної дільниці

№ Печі	Найменування печей	Розмір внутр., простору			Габарити печі, м	Садка, кг	Продуктивність, кг/год	Кількість печей
		Довжина, м	Ширина, м	Висота, м				
1	СДО - 8.16.8/11,5	0,8	1,6	0,8	2,1x5,9x2,3	138	55,2	1
2	СШМЦ - 8.12/9,5	0,8		1,2	1,4x2x2,2	36	72	1
3	ПШО - 8.12/7П1	0,8		1,2	2x2x2,4	72	18	1

5.4. Проектування термічної ділянки

5.4.1. Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується

Головними компонентами виробничої структури підприємства є робочі місця, ділянки та цехи.

Ділянка - це підрозділ виробництва, який об'єднує групу робочих місць згідно з певними ознаками і виконує частину загального виробничого процесу з виготовлення продукції або обслуговування виробничого персоналу[31].

Зазвичай, для розташування проектованої ділянки цеху, яка випускає шкідливі гази та має значний надлишок тепла (понад 20 ккал/м³ на годину), використовується одноповерхова будівля прямокутної форми, що забезпечує ефективне видалення шкідливих речовин природним шляхом[24].

При розташуванні термічного цеху у загальному корпусі, спільному з іншими цехами (наприклад, ковальським або механічним), рекомендується розміщувати цех у найбільш протяжній частині, уздовж зовнішньої стіни корпусу, для поліпшення операцій.

Усі елементи будівлі термічного цеху відносяться до категорії "Т" з пожежної безпеки і повинні бути виготовлені з негорючих матеріалів, відповідних I та II класам вогнестійкості.

Ширина проходів може складати 12, 18, 21, 30 або 36 метрів, в залежності від розміщення обладнання та необхідної ширини проїздів. У проектованому цеху можуть бути використані мережі стовпців розміром 12 x 18 або 12 x 24, для будівель з кранами - 12 x 24 або 12 x 30. Прольоти можуть мати ширину 6, 9 або 12 метрів, а висота прольоту залежить від вимог роботи[22].

Для термічних ділянок, які мають велику теплову активність і не потребують ізоляції покриття, азбоцементні листи можуть бути використані для їх проектування.

У ділянках можуть бути встановлені світлові аерозольні ліхтарі з подібним профілем "П".

Покриття підлог на ділянці використовуємо не слизьке, яке легко очищається від забруднень.

Для монтажу та ремонту обладнання використовуються підвісне обладнання (кран) та транспортні пристрої (візки, навантажувачі).

Термічні цехи мають значну кількість інженерних комунікацій, встановлення та монтаж яких може ускладнити нормальний хід технологічного процесу і не відповідати промисловій естетиці. Проблему раціонального розташування комунікацій, допоміжного обладнання та складських приміщень можна вирішити шляхом будівництва підвалів або технологічних поверхів[22].

Для визначення геометричних параметрів ділянки необхідно розрахувати її площу. Загальна площа ділянки розподіляється на виробничу, допоміжну та адміністративно-побутову[31].

Виробнича-побутова площа включає площі виробництва, де проводиться обробка виробів, а також площі для зберігання виробів до і після термічної обробки.

До складу допоміжних площ входять ділянки для контролю термічної обробки, проїзди для внутрішнього транспортування вантажів, приміщення для приготування карбюризатору, майстерні з ремонту устаткування, експрес-лабораторії для аналізу матеріалів та технологічних параметрів карбюризаторів.

Контрольно-побутові площі включають приміщення контори ділянки[22].

Необхідні площі для проектованої ділянки можуть бути розраховані за узагальненими показниками, використовуючи довідкові дані.

Розрахунок площі цеху:

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

Де $S_{\text{ПОЛ}}$ - корисна виробнича площа необхідна для розміщення обладнання;

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

$S_{\text{ВСП}}$ - допоміжна площа.

$$S_{\text{ПОЛ}} = \sum S_{\text{I}},$$

S_{I} - площа для даного обладнання.

$$S_{\text{ПОЛ}} = 6 \cdot 24 = 144 \text{ м}^2$$

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

$$S_{\text{ВСП}} = 25 \dots 35\% * S_{\text{ПОЛ}} = 30\% * 144 = 43,2 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ПРОХ}} = 25 \dots 35\% * S_{\text{ПОЛ}} = 30\% * 144 = 43,2 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ЗАГ}} = 144 + 43,2 + 43,2 = 230,4 \text{ м}^2$$

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

Таким чином, ми отримуємо термічний ділянку розмірами: $24 \times 12 = 288 (\text{м}^2)$.

План розробленого термічної ділянки зазначено в Додатку Е.

5.5. Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці

Склад термічних цехів включає наступні елементи[22]:

1. Виробничі зони.
2. Окремі допоміжні приміщення (склади).
3. Склади для готової продукції, допоміжних матеріалів та пристосувань.
4. Трансформаторні підстанції.
5. Службові і побутові приміщення.

Розміри та структура цеху, характер технологічних процесів та інші фактори впливають на розміщення цих приміщень. Площа складів змінюється в залежності від цеху, його розмірів та структури.

При плануванні розташування обладнання в цеху необхідно враховувати наступні фактори[31]:

1. Компонувальна схема технологічного вантажопотоку, щоб уникнути перетину шляхів руху оброблюваних виробів. В окремих випадках, для цехів індивідуального та дрібносерійного виробництва, можуть бути винятки, але загальний вантажопотік повинен спрямовуватися в одному напрямку[31].

2. Забезпечення можливості обслуговування та ремонту устаткування.

3. Організація руху міжопераційного транспорту для оброблюваних виробів.

4. Розташування печей уздовж зовнішніх стін.

5. Розміщення ділянок з токсичними матеріалами та обладнанням, які створюють шум, в окремих приміщеннях, що ізолюються від печового залу.

6. Розташування ділянок для приготування захисних атмосфер, повітродувок високого тиску та установок для очистки дробом.

7. Проїзди та коридори бажано розміщувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей у зовнішніх стінах.

Висновки

У п'ятому розділі було вибрано технологію термічного зміцнення деталі, що включає такі операції: нормалізація, механічна обробка, нітроцементация, гартування, низький відпуск.

Враховуючи марку сталі, для підготовки її структури до механічної обробки була обрана нормалізація. Ця операція займає менше часу на витримку деталі в печі порівняно з класичним відпалом.

Як метод зміцнюючої обробки була замінена цементация в газовому середовищі на нітроцементацию. Нітроцементация має нижчу температуру дифузійного насичення та скорочує час витримки деталі в печі, що позитивно впливає на структуру деталі по всьому перерізу. З економічних міркувань рекомендується проводити гартування з цементацийного нагріву шляхом відключення подачі триетаноламіну, певною витримкою деталей для рівноваження температури та їх наступного охолодження в маслі.

Для зняття гартувальних напружень деталі піддають низькотемпературному відпуску.

Також було обрано основне обладнання для проведення термічної обробки та розраховано необхідну кількість. Для нормалізації була використана камерна електрична піч з видвижним подом, для нітроцементации та гартування – шахтна електрична цементацийну піч, а для відпуску – шахтну електричну відпускну піч. Обране обладнання було розміщено на плані термічної дільниці та розраховано його розміри.

ВИСНОВКИ

В результаті дипломної роботи, яка розглядала технологію виготовлення та термічну обробку шестерні трактора трансмісійної, були зроблені наступні висновки:

1. **Заміна матеріалу:** Під час дослідження було встановлено, що заміна матеріалу для виготовлення шестерні зі сталі 40Х на сталь 25ХГТ є доцільною. Сталь 25ХГТ має вищу міцність та стійкість до зносу, що покращує експлуатаційні характеристики шестерні.

2. **Режими термічної обробки:** Були підібрані оптимальні режими термічної обробки для шестерні зі сталі 25ХГТ. Це включало нормалізацію для підготовки структури до механічної обробки, нітроцементацію для зміцнення поверхні шестерні та відпуск для зняття гартувальних напружень.

3. **Розрахунок обладнання:** Було розраховано необхідне обладнання для проведення термічної обробки. Це включало камерну електричну піч для нормалізації, цементаційну піч для нітроцементації та гартування, а також відпускну піч для відпуску. Обладнання було вибрано з урахуванням технологічних потреб та розміщено в термічній дільниці.

4. **Проектування термічної дільниці:** Була розроблена проектна схема термічної дільниці, в якій розміщено обране обладнання. Були враховані вимоги безпеки та оптимальний розмір приміщення залежно від розміру обладнання та технологічних процесів.

Загальною висновком дипломної роботи є те, що застосування технології виготовлення та термічної обробки зі заміною матеріалу для шестерні трактора трансмісійної на сталь 25ХГТ є доцільним і покращує якість та експлуатаційні характеристики деталі. Проектування термічної дільниці та вибір необхідного обладнання дозволяють забезпечити високу якість термічної обробки шестерні з використанням відповідних режимів обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: підручник: у 3 кн. Кн.3: Машини сільськогосподарські / А.Ф. Головчук, В.І. Марченко, В.Ф. Орлов; за ред. А.Ф. Головчука. – К.: Грамота, 2005. – 576 с.
2. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: підручник: у 3 кн. Кн.1: Трактори / А.Ф. Головчук, В.Ф. Орлов, О.П. Строков; за ред. А.Ф. Головчука. – К.: Грамота, 2003. – 336 с.
3. Технологія технічного обслуговування сільськогосподарської техніки: Навчальний посібник / Л.Ф. Бабицький, І.В. Соболевський, У.С. Абдулгасіс, В.Ю. Москалевич, В.О. Куклін. – Сімферополь, ДІАЙП, 2011. – 448 с.
4. Иванов, М. Н. Детали машин: учебник /М.Н.Иванов; под ред. В.А. Финогенова.– 6-е изд., перераб.– М.: Высшая шк., 2000.– 383 с.
5. Горбатюк С.М. Детали машин и основы конструирования : учеб. / С.М. Горбатюк; под ред. С.М. Горбатюка. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2014. – 424 с.
6. Стрелец, В. В. Деталі машин і основи конструювання [Текст] : конспект лекцій для студ. спец. 6.050502 "Інженерна механіка", 6.050503 "Машинобудування", 6.050601 "Теплоенергетика", 6.050604 "Енергомашинобудування" денної та заочної форм навчання /В.В.Стрелец.– Суми: СумДУ, 2012.– 120 с.
7. Піпа, Б. Ф. Прикладна механіка і основи конструювання :конспект лекцій. Частина 2.\ Б.Ф.Піпа, О.М.Хомяк, А.І.Марченко.– К. : КНУТД, 2008.– 83с.
8. Методичні вказівки до виконання завдання з креслення до теми «Зубчасті зачеплення» для студентів машинобудівних спеціальностей /Упоряд. І.П.Демковський та ін. – Харків:НТУ «ХПІ», 2008. –26 с.
9. Водейко, В.Ф. Редукторы зубчатые: методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» / В.Ф. Водейко, Д.Г. Эфрос. – М.: МАДИ, 2014 – 48 с.
10. Рубець, А. Зубчасті передачі: монтаж та обслуговування / А. Рубець // Пропозиція. – 2014. – № 12. – Режим доступу:<http://propozitsiya.com/ua/zubchatye-peredachi-montazh-i-obsluzhivanie>.

11. Жильников Е.П. Детали машин: конспект лекций / Е.П. Жильников, А.И. Тихонов. - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2007. - 256 с.
12. Дальский, А.М. Технология конструкционных материалов/ А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк, Л.Н. Бухаркин и др.; под общ.ред. А.М. Дальского.– М.: Машиностроение, 1990 – 570 с.
13. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб. пособие. - М.: Машиностроение, 2004. - 560 с.
14. Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Высшая школа. 2004. - 447 с.
15. Шелофаст, В.В. Основы проектирования машин / В.В. Шелофаст. - М.: Изд-во АПМ, 2000. - 472 с.
16. Решетов, Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. / Д.Н. Решетов. - М.: Машиностроение, 1989. - 496 с.
17. Сигова, В. И. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учеб.пос. Ч.2: Программа, методические указания и задания к курсовой работе по разделам: материаловедение и термическая обработка / В.И. Сигова, В.А. Пчелинцев.– Сумы:СумГУ, 2005.– 183 с.
18. Бельков, В.Н. Детали машин и основы конструирования: учеб.пособие /В.Н. Бельков, Н.В. Захарова. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 164 с.
19. Пчелинцев В.А. Повреждаемость основных деталей машин: учеб.-метод. пос. / В.А.Пчелинцев, В.Н. Раб.– Сумы:СумГУ, 2008.– 137 с.
20. Руденко, Л.Ф. Легованісталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми :Сумський державний університет, 2012. – 171 с.
21. Литовченко, С.В. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры: методические материалы / С.В. Литовченко, Е. А. Доценко, С. Ю. Кочетова. – Харьков: ХНУим. В. Н. Каразина, 2011. – 14 с.
22. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов: учебное пособие для вузов/Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.

23. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / И. И. Новиков – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.

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

25. Дубовий О.М. Інженерне матеріалознавство [Текст] : підручник / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедєва, С. М. Самохін. – Миколаїв : НУК, 2009. – 444 с.

26. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. / Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2000. – 638 с: ил.

27. Дяченко, С.С. Матеріалознавство. С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. - Харків: Видавництво ХНАДУ, 2007. – 440 с.

28. Мохорт, А. В. Термічна обробка металів [Текст] : навч. посібник / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак . – К. : Либідь, 2002. – 512 с.

29. Кузін, О. А. Металознавство та термічна обробка металів [Текст] : Підручник / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк . – Львів : вид-во “Афіша”, 2002. – 304 с.

30. Мережко, Н.В. Матеріалознавство і технологія матеріалів : підручник: [для вищих навч. закл.] / Н.В. Мережко, Н.К. Зіміна, С.О. Сіренко, О.І. Сім'ячко. - К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2010. – 352 с.

31. Будник, А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: навчальний посібник /А.Ф. Будник. – Суми: Видво СумДУ, 2008. 212 с.