

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра прикладного матеріалознавства  
і технології конструкційних матеріалів**

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
завідувач кафедри  
Гапонова Оксана Петрівна

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

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

Тема роботи: «Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення  
заготовки і термічної обробки деталі «зубчасте колесо»»

Виконала:  
Кравець Вікторія Вікторівна

Керівник:  
Берладір Христина Володимирівна

Залікова книжка № 17510326

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

\_\_\_\_\_  
підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:  
П. І. П/б

\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Суми  
2021

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

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
завідувач кафедри  
Гапонова Оксана Петрівна

дата, підпис

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

Кравець Вікторія Вікторівна

1. Тема проекту (роботи)  
«Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «зубчасте колесо» затверджена наказом університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р. № \_\_\_\_\_
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення деталі зубчасте колесо
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
  1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів
  2. Огляд літератури
  3. Характеристика матеріалів деталі
  4. Розробка маршрутної технології виготовлення деталі
  5. Розрахунково- експериментальна частина
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
  1. креслення деталі «зубчасте колесо»

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розділ 1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	30.04.2021 – 03.05.2021	Виконано
2	Розділ 2. Огляд літератури	07.05.2021 – 27.05.2021	Виконано
3	Розділ 3. Характеристика матеріалів деталі	27.05.2021 – 03.06.2021	Виконано
4	Розділ 4. Розробка маршрутної технології виготовлення деталі	03.06.2021 – 08.06.2021	Виконано
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина	09.06.2021 – 14.06.2021	Виконано

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент

Кравець Вікторія Вікторівна

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник проекту

Берладір Христина Володимирівна

\_\_\_\_\_ (підпис)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра вміщує 58 сторінок, зокрема 13 рисунків, 3 таблиці та список із 24 використаних джерел на 2 сторінках.

**Мета роботи** – вибір оптимальної марки сталі, термічної обробки та розроблення перспективної маршрутної технології виготовлення деталі «зубчасте колесо».

**Актуальність роботи** – створення основ управління якістю зубчастих коліс, забезпечення їх довговічності та надійності.

**Завдання:**

1. Виконати аналіз умов роботи деталі.
2. Обрати матеріал для виготовлення деталі.
3. Розробити термічну обробку та технологічний процес.
4. Обрати основне обладнання для термічної обробки.

**Об'єкт дослідження** – процеси термообробки, які застосовуються для сталі виготовлення деталі, їх вплив на властивості й структуру матеріалу.

**Предмет дослідження** – конструкційна легована сталь 40X, структура та властивості.

**Методи досліджень** – макроскопічний та мікроскопічний методи досліджень, вимірювання твердості за методами Брінелля та Роквелла.

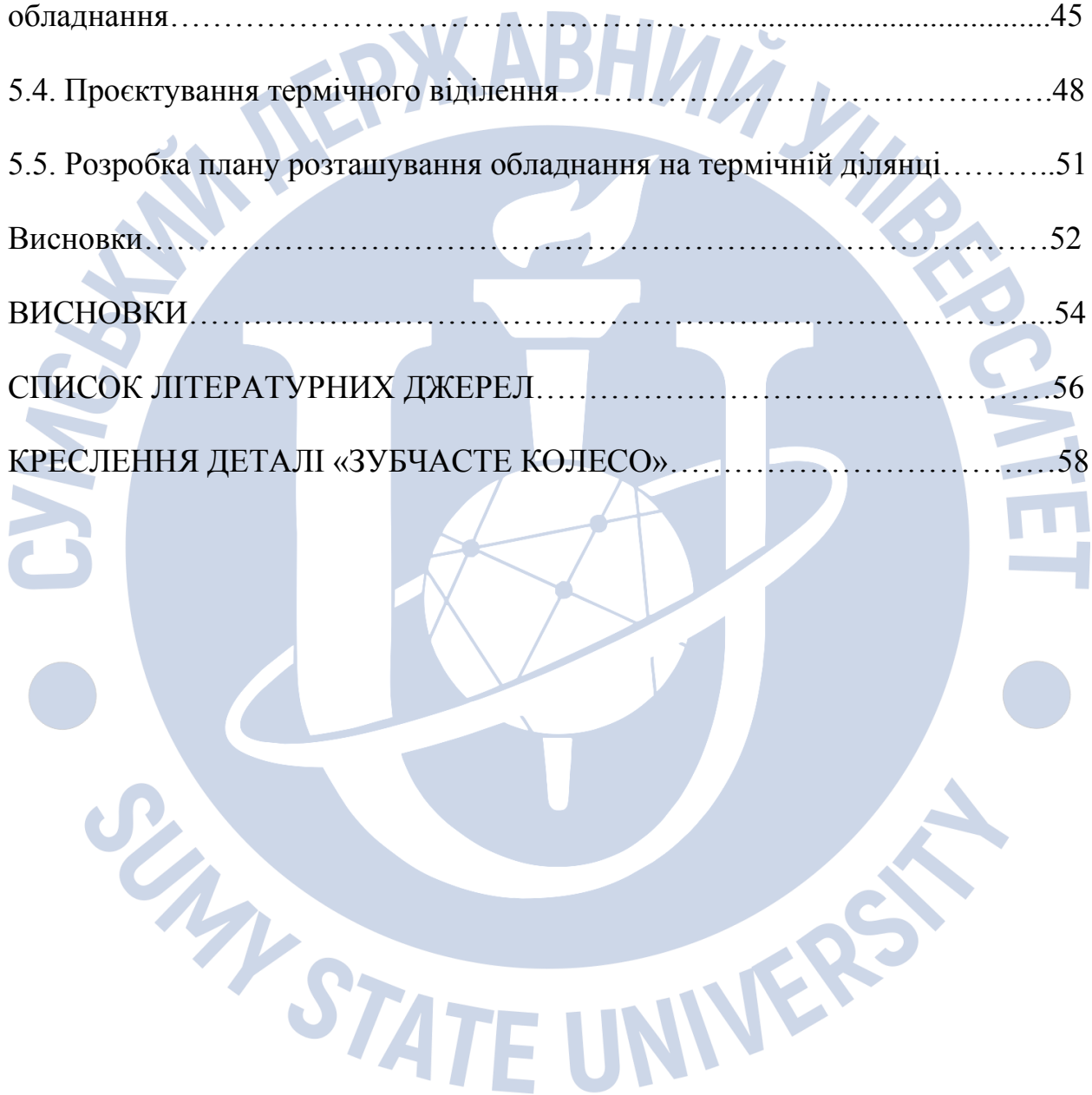
В ході роботи було проаналізовано умови роботи деталей зубчастих передач та сформульовано вимоги до матеріалів, з яких вони виготовляються. Обрана марка конструкційної низьколегованої сталі, розроблена маршрутна технологія виготовлення деталі «зубчасте колесо», запропоновано режим термічної та зміцнювальної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



## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ.....	7
1.1. Аналіз умов роботи деталі «зубчасте колесо».....	7
1.2. Причини виходу з ладу деталі «зубчасте колесо».....	10
Висновок.....	12
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	13
2.1. Технології виготовлення та методи зміцнення деталі «зубчасте колесо»	13
2.2. Хіміко-термічна обробка деталі «зубчасте колесо».....	16
Висновки.....	18
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ.....	19
3.1. Вибір матеріалу деталі «зубчасте колесо».....	19
3.2. Вплив легуючих елементів.....	23
3.3 Методи дослідження матеріалів.....	23
3.3.1. Металографічні дослідження.....	26
3.3.2. Випробування металу на твердість.....	28
Висновки.....	29
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	31
4.1. Розробка маршрутної технології виготовлення деталі.....	31
4.2. Технологічний маршрут виготовлення деталі «зубчасте колесо».....	33
Висновки.....	35

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	37
5.1. Розробка альтернативного методу термічної обробки.....	37
5.2. Розрахунок виробничої програми.....	42
5.3. Розрахунок і вибір основного, допоміжного і додаткового обладнання.....	45
5.4. Проектування термічного відділення.....	48
5.5. Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці.....	51
Висновки.....	52
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО».....	58



## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ.

#### 1.1. Аналіз умов роботи деталі «зубчасте колесо».

Зубчасте колесо, шестерня - основна деталь зубчастої передачі у вигляді диска із зубами на циліндричній або конічній поверхні, що входять в зачеплення з зубами іншого зубчатого колеса. У машинобудуванні прийнято мале зубчасте колесо з меншим числом зубів називати шестернею, а велика - колесом.

Зубчасті колеса зазвичай використовуються парами з різним числом зубів з метою перетворення обертаючого моменту і числа обертів валів на вході і виході. Колесо, до якого обертаючий момент підводиться ззовні, називається ведучим, а колесо, з якого момент знімається - веденим. Якщо діаметр ведучого колеса менше, то обертаючий момент веденого колеса збільшується за рахунок пропорційного зменшення швидкості обертання, і навпаки. У відповідності з передавальним відношенням, збільшення крутного моменту буде викликати пропорційне зменшення кутової швидкості обертання веденого зубчатого колеса, а їх добуток - механічна потужність - залишиться незмінним.

У залежності від взаємного розміщення геометричних осей валів зубчасті передачі бувають:

- циліндричні – при паралельних осях;
- конічні – вісі перетинаються;
- гвинтові та гіпоїдні – вісі перехрещуються.

Гвинтові зубчасті передачі мають, підвищене ковзання в зачепленні і низьку навантажувальну здатність, тому їх застосування обмежене. Для

перетворення обертового руху в поступальний і навпаки застосовують рейкову передачу, яка є граничним випадком циліндричної зубчастої передачі. Рейку розглядають як колесо, діаметр якого прямує до безкінечності. У залежності від розміщення зубів на ободі коліс передачі розрізняють [10].

- прямозубі
- косозубі
- шевронні
- з круговими зубами

В залежності від форми профіля зуба передачі бувають:

- шевронні;
- з зачепленням Новікова;
- циклоїдні.

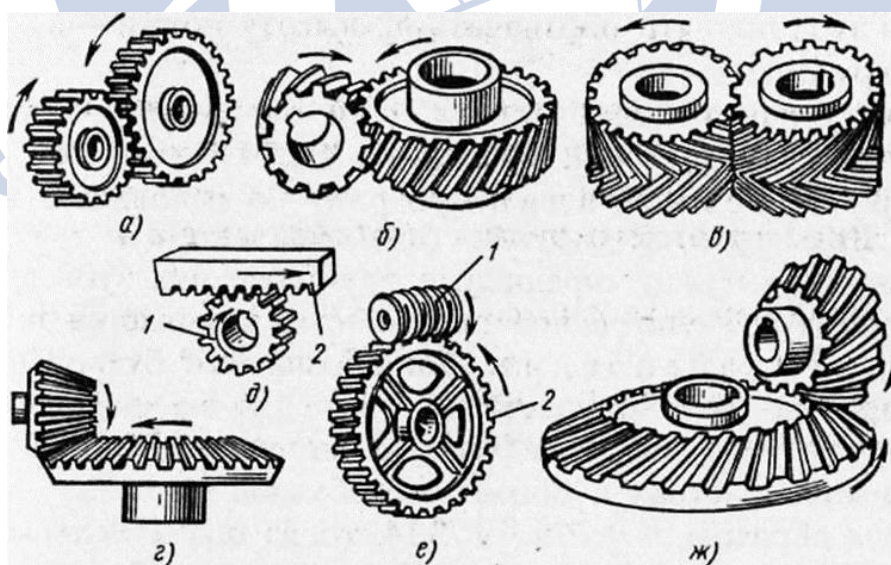


Рисунок 1.1 - Зубчасті зачеплення: а - циліндричний з прямим зубом, б - те ж, з косим зубом, в - з шевронним зубом, г - конічний, д - колесо - рейка, е - черв'ячне, ж - з круговим зубом [7]:

У залежності від взаємного розміщення коліс зубчасті передачі бувають [10]:

- зовнішнього зачеплення;
- внутрішнього зачеплення;

У залежності від конструктивного виконання зубчасті передачі бувають:

- відкритими;
- напіввідкритими;
- закритими.

У залежності від класу точності [10]:

- 1–3 клас точності (високоточні прилади);
- 3–10 класу точності (загальне машинобудування);
- 10–12 класу точності (важке машинобудування)

У залежності від кількості ступенів:

- одноступінчасті;
- двох і багаступінчасті (загальне передаточне відношення таких

передач визначається, як добуток передаточних відношень кожної з ступені).

По швидкісним характеристикам [10]:

- мало швидкісні (окружні швидкості до 3 м/с);

- середньо швидкісні (окружні швидкості від 3 до 10 м/с);
- високошвидкісні (окружні швидкості від 10 м/с).

Якість роботи передач пов'язана з точністю виготовлення зубчастих передач та деталей (корпус, підшипники, вали), які визначають їх взаємне розташування. Деформація деталей під навантаженням теж впливає на якість передачі.

Зубчасті колеса є основними деталями більшості машин і механізмів. Вони служать для передачі обертальних рухів між окремими елементами механізмів. Обертання передається через зубчасте зачеплення. Відмова або руйнування зубчастого колеса тягне за собою припинення передачі крутного моменту і відмова рухових агрегатів. Найбільш навантаженою частиною зубчастого колеса є зуб.

## **1.2. Причини виходу з ладу деталі «зубчасте колесо».**

У багатьох випадках вихід з ладу деталей силових передач походить від втоми їх матеріалу. Особливо це властиво найбільш навантаженим деталям силових передач - зубчастих коліс і евольвентним шліцьовим валів, для яких характерні втомні руйнування від вигинального навантаження при невеликій кількості циклів (в окремих випадках - при одноразовому напруженні) і при тривалій циклічній роботі: при контактному напруженні, від торцевого зносу. Втрати працездатності зубів від ударних навантажень при перемиканні передач характерні не тільки для оборотного колеса, але і для зубчастих муфт.

Викришування – найбільш серйозний і розповсюджений дефект навіть для закритих добре змащених й захищених від забруднення передач. На робочих поверхнях з'являються невеликі поглиблення, які потім перетворюються в раковини, що приводить до підвищення контактного тиску



й порушення роботи передачі. Викришування носить характер втоми і викликане контактними напруженнями. Для запобігання викришування необхідно підвищувати твердості матеріалу термообробкою або підвищувати ступені точності передачі, а також правильно призначати розміри з розрахунку на утому по контактних напруженнях. [11]

Абразивне зношування є основною причиною виходу з ладу передач при поганому змащенні. Це, у першу чергу, відкриті передачі, а також закриті, що перебувають у запиленому середовищі. В наслідок абразивного зношування підвищуються зазори в зачепленні, підсилюються шум, вібрація, динамічні перевантаження, змінюється форма зуба, зменшуються розміри поперечного перерізу, а значить і міцність зуба. Заходи попередження зношування полягають в підвищенні твердості поверхні зубів, захисту від забруднення, застосування спеціальних мастил. Заїдання відбувається у високонавантажених і високошвидкісних передачах. У місці контакту зубів виникає підвищена температура, що приводить до молекулярного зчеплення металу з наступним відривом. Вирвані частки потім дряпають поверхні тертя. Звичайно заїдання відбуваються внаслідок видавлювання масляної плівки між зубів при спільній дії високих тисків і швидкостей. Заходи попередження аналогічні, що й при абразивному зношуванні [11].

Злам (поломка) зуба – явище, що зустрічається рідше, але є не менш небезпечний вид поломок, пов'язаний з напруженнями згину. Злам зуба може привести до досить тяжких наслідків аж до руйнування валів і підшипників, а іноді й усього механізму. Для попередження зламу проводиться розрахунок зуба по напруженнях згину. [11].

**Висновок:** Зубчасті колеса є основними деталями більшості машин і механізмів. Обертання передається через зубчасте зачеплення. Відмова або руйнування зубчастого колеса тягне за собою припинення передачі крутного моменту і відмова рухових агрегатів. Найбільш навантаженою частиною



зубчастого колеса є зуб. Умови роботи зубчастих коліс визначаються їх швидкохідністю, рівнем контактних і згинальних навантажень. В процесі експлуатації зуби зубчастих коліс піддаються: вигину, контактним напруженням на бічних робочих поверхнях зубів, зносу бічних поверхонь. Згідно з умовами роботи до найбільш частих поломок при роботі відноситься: викришування, абразивне зношування й заїдання поверхонь зубів, а також злам зуба. Викришування, абразивне зношування й заїдання обумовлені поверхневою міцністю, а злам – об'ємною міцністю зубів. Для запобігання причин руйнування деталі зубчасте колесо необхідно підвищення твердості матеріалу термообробкою або підвищувати ступені точності передачі, а також правильно призначати розміри з розрахунку на утому по контактних напруженнях.



## РОЗДІЛ 2.

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.

#### **2.1. Технології виготовлення та методи зміцнення деталі «зубчасте колесо»**

Основними факторами, що визначають типовий технологічний процес виготовлення зубчастого колеса, є: конструктивні розміри і форма деталі, спосіб отримання заготовок, точність виготовлення і програма випуску. До зубчастих коліс ставиться комплекс конструктивно технологічних і виробничих вимог, які пов'язані зі службовим призначенням зубчастих коліс і з необхідністю приведення цих вимог у відповідність з технологічними можливостями і специфікою виробництва заводу-виробника. Вимоги, пов'язані безпосередньо з технологією виготовлення зубчастих коліс спрямовані на зниження трудомісткості і собівартості, застосування прогресивних способів обробки і підвищення якості та представляють основну групу вимог, висунутих виробництвом і які розглядають при технологічній обробці креслень.

Зубчасті колеса повинні мати досить високу міцність, поверхню твердість і зносостійкість, що забезпечують надійну роботу зубчастої передачі при найменших її габаритах і масі. Тому зубчасті колеса виготовляються переважно з вуглецевих і легованих сталей з термічної або хіміко-термічної їх обробкою. Матеріал заготовки зумовлює багато вихідні параметри якості зубчастого колеса, які залишаються на всіх операціях і переходять на готову деталь. Тому при виборі матеріалу для зубчастих коліс відповідального 14 призначення враховують не тільки хімічно склад і механічні властивості сталі, але приймають ще до уваги спадкову величину зерна, селектування за змістом вуглецю, оброблюваність ріжучими інструментами, схильність до деформації при термічній обробці і інші металургійні чинники, пов'язані з проявом

технологічної спадковості. При виготовленні зубчастого колеса є декілька технологічних видів отримання деталі.

Процес накатки зубчастих вінців коліс заснований на технологічному методі пластичних деформацій. При зменшенні міжосьової відстані інструмент-заготовка зуби інструменту вдавлюються в більш м'який метал заготовки, який починає текти, заповнюючи западини зубів, і в процесі обкатування формує зуби вінця колеса. Залежно від конкретних умов, фізичних характеристик металу заготовки, інструменту, відносного обсягу витісненого металу, міцності і жорсткості системи, необхідне число циклів взаємодії інструменту і заготовки може змінюватися в значних межах. Формування зубчастого вінця повинно супроводжуватися певними кінематичними умовами, що зв'язують руху заготовки та інструменту і забезпечують отримання профілю зуба колеса по методу обкатки або копіювання з додатковим обтисненням металу, яке відбувається при впровадженні зуба інструмента в заготовку.

Глибина впровадження на один оборот заготовки закономірно пов'язана зі способом накочування. Гаряче накатування зубів застосовують при виготовленні коліс середніх (1...3,5 мм) і великих (понад 3,5 мм) модулів. Гаряче накочення дозволяє підвищити коефіцієнт використання металу, поліпшити механічні характеристики зубчастого колеса, є високопродуктивним і виконується на досить простому обладнанні. Нагрівання заготовки може бути попередньо, перед початком накочування зубів, або ж триває в процесі виготовлення зубчастого венця. Нагрівання зовнішньої поверхні заготовки виконують струмами високої частоти. У першому випадку використовують кільцеві індуктор з високим електричним к. к. д. і незмінними електричними параметрами. Заготівлю слід нагрівати з таким розрахунком, щоб тепла вистачило на підтримання високої температури протягом всього процесу накочування. Верхня межа температури становить приблизно 1200 °С. Заготівлю в процесі накочування зубів нагрівають

секторними індукторами, що складаються з одного або двох секторів. Глибина нагріву повинна складати близько двох модулів. Індуктори дозволяють змінювати зазори між заготівлею та індукторами

Найпростішим методом виготовлення зубів є литво. Однак литі зуби мають низьку точність та чистоту робочих поверхонь. Тому литі зубчасті колеса застосовують лише у відкритих зубчастих передачах, швидкість яких не перевищує 2 м/с. У всіх інших випадках для виготовлення зубів використовують спеціальні зубонарізні верстати.

Нарізання зубів здійснюється двома методами: методом копіювання та методом обкатки. При нарізанні зубів методом копіювання використовують спеціальні фрези, профіль яких відповідає контурові та розмірам западин між двома сусідніми зубами.

Недоліком цього методу є зниження точності нарізання зубів, обумовлене зносом фрез.

При нарізанні зубів методом обкатки використовують:

- нарізання зубів за допомогою зубчастої рейки.
- нарізання зубів за допомогою черв'ячної фрези;
- нарізання зубів за допомогою довбляка.

Найбільш поширеним у машинобудуванні є виготовлення зубів зубчастих передач шляхом нарізання за допомогою зубчастої рейки.

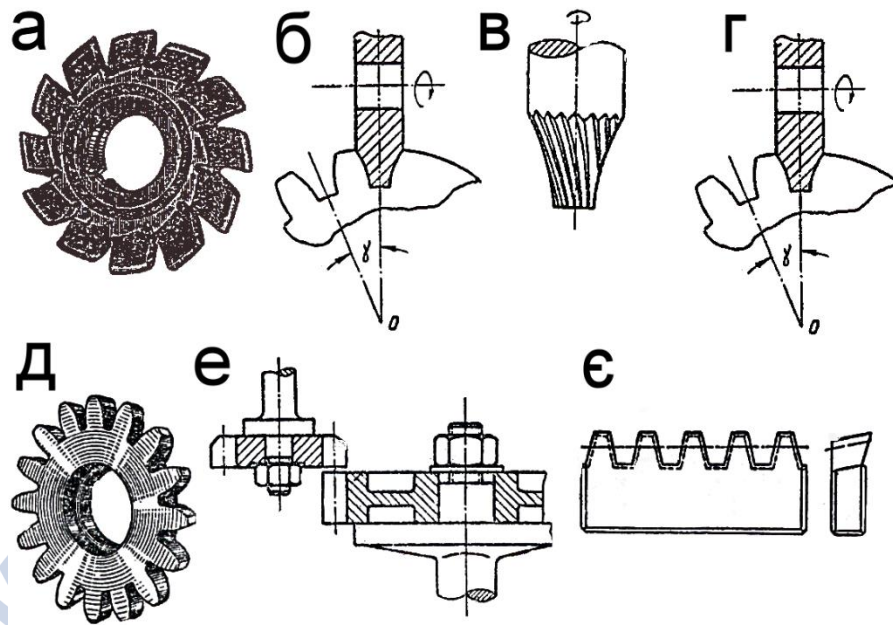


Рисунок 2.1 - Способи виготовлення зубів зубчастих передач.

## 2.2 Хіміко-термічна обробка деталі «зубчасте колесо».

Матеріали зубчастих коліс і термічна або хіміко-термічна обробка обираються в залежності від призначення передачі, умов експлуатації і вимог до габаритних розмірів.

Для підвищення несучої здатності передач доцільно підвищення твердості поверхні зубів, тому що несуча здатність передач по контактній міцності пропорційна квадрату твердості поверхні зубів. Однак підвищення твердості матеріалу негативно позначається на згинальній міцності. Для підвищення згинальної міцності бажано зберігати в'язку серцевину зуба. Тому в основному застосовується поверхнева термічна або хіміко-термічна обробка.

Способи зміцнення [4]:

Нормалізація дозволяє отримати твердість 180 ... 220 НВ, тому здатність навантаження відносно невелика, але при цьому зуби коліс добре опрацьовуються



і зберігають точність, отриману при механічній обробці. Нормалізовані колеса зазвичай використовують у допоміжних механізмах, наприклад, в механізмах ручного управління.

Поліпшення дозволяє отримати твердість поверхні і серцевини 200 ... 240 НВ (для невеликих коліс 280 ... 320 НВ), здатність навантаження трохи вище, ніж при нормалізації, але зуби коліс прірабативаються гірше. Зазвичай поліпшені колеса застосовують в умовах дрібносерійного і одиничного виробництва при відсутності жорстких вимог до габаритів.

Загартування струмами високої частоти (ТВЧ) дає середню навантажувальну здатність при досить простій технології зміцнення. Дозволяє досягати поверхневої твердості 45 ... 55 HRC при глибині зміцненого шару до 3 ... 4 мм. Загартуванню ТВЧ зазвичай передують поліпшення, тому механічні властивості серцевини - як при поліпшенні. Згинальна міцність в порівнянні з об'ємною загартуванням вище в 1,5-2 рази. Через підвищеної твердості зубів передачі погано прірабативаються. Розміри зубчастих коліс практично необмежені. Необхідно пам'ятати, що при модулях менше 3 ... 5 мм, зуб прожарюється наскрізь, що призводить до значного їх викривлення і зниження ударної в'язкості.

Цементация (поверхневе насичення вуглецем) з наступним загартуванням ТВЧ і обов'язковою шліфуванням дозволяє отримати поверхневу твердість 56 ... 63 HRC при глибині зміцненого шару 0,5 ... 2 мм. Здатність навантаження висока, але технологія зміцнення складніша. Згинальна міцність в порівнянні з об'ємною загартуванням вище в 2-2,5 рази.

Азотування (поверхневе насичення азотом) забезпечує високу твердість і зносостійкість поверхневих шарів, при цьому не потрібно подальша гарт і шліфування. Азотування дозволяє отримати поверхневу твердість 58 ... 67 HRC при глибині зміцненого шару 0,2 ... 0,5 мм. Мала товщина зміцненого шару не дозволяє застосовувати азотований колеса при ударних

навантаженнях і при роботі з інтенсивним зношуванням (при забрудненій мастилі, попаданні абразиву). Тривалість процесу азотування досягає 40-60 годин. Зазвичай азотування застосовують для коліс з внутрішнім зачепленням і інших, шліфування яких утруднено.

Нітроцементация - насичення поверхневих шарів вуглецем і азотом в газовому середовищі з наступним загартуванням забезпечує високу контактну міцність, зносостійкість і опір заїдання, має досить високою швидкістю протікання процесу - близько 0,1 мм / год і вище. У зв'язку з малим викривленням дозволяє в багатьох випадках обійтися без шліфування. Зміст азоту в поверхневому шарі дозволяє застосовувати менш леговані сталі, ніж при цементации: 18ХГТ, 25ХГТ, 40Х та ін.

**Висновок:** Зубчасті колеса будуть залишатися однією з найважливіших деталей транспортних засобів. Тенденції зниження ваги, а також збільшення швидкостей і потужності вимагає застосування нових матеріалів і технологій зміцнення зубчастих коліс. Вплив експлуатаційних факторів призводить до помилок вже на стадії проектування. Необхідно забезпечити ресурс зубчастих коліс по згинальній і контактній витривалості, а також по зносу. Традиційні методи поверхневого зміцнення мають ряд недоліків. Для забезпечення максимальної несучої здатності зубчастого колеса необхідно оптимізувати компоновку поверхневого шару за принципом мінімізації напружено-деформованого стану. Досягти цієї мети можна за рахунок зміцнення поверхні зубів і в першу чергу на небезпечних ділянках за рахунок нанесення зміцнюючих покриттів з градієнтною структурою по глибині, створення в поверхневих шарах залишкових напружень стиску з оптимальним значенням і зміцнення серцевини зуба.



## РОЗДІЛ 3

### ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

#### 3.1. Вибір матеріалу деталі «зубчасте колесо»

Зубчасті колеса повинні мати досить високу міцність, поверхню твердість і зносостійкість, що забезпечують надійну роботу зубчастої передачі при найменших її габаритах і масі. Тому зубчасті колеса виготовляються переважно з вуглецевих і легованих сталей з термічної або хіміко-термічної їх обробкою. Матеріал заготовки зумовлює багато вихідних параметрів якості зубчастого колеса, які залишаються на всіх операціях і переходять на готову деталь. Тому при виборі матеріалу для зубчастих коліс відповідального призначення враховують не тільки хімічний склад і механічні властивості сталі, але приймають ще до уваги прогартовуваність, спадкову величину зерна, оброблюваність ріжучими інструментами, схильність до деформації при термічній обробці і інші металургійні чинники, пов'язані з проявом технологічної спадковості.

Як відомо, хімічний склад сталі обумовлює її твердість, прогартовуваність, розміри зерен, схильність до деформації при термічній обробці, втомну і контактну міцність. Ударна в'язкість сталі підвищується при введенні нікелю, молібдену, ванадію, кремнію і знижується при додаванні хрому і марганцю. Легування сталі хромом і марганцем забезпечує високу твердість і міцність, титаном і цирконієм – зменшує схильність до зростання зерна при перегріванні. Молібден, бор і ванадій підвищують прогартовуваність сталі, кремній - міцність і пружність, нікель і марганець - вміст залишкового аустеніту в цементованому і нітроцементованому шарі. Оброблюваність сталі залежить від її хімічного складу і механічних властивостей. Чим вона твердіше, тим гірше обробляється. при введенні більшості легуючих елементів оброблюваність сталі погіршується, виняток становить свинець. Сталі з малим вмістом вуглецю мають підвищену в'язкість

і тому гірше обробляються (внаслідок значної шорсткості поверхні). Крім того, звертають увагу на особливості виробництва сталі, так як в залежності від способу виробництва при одному і тому ж хімічному складі сталь володіє різними фізико-механічними властивостями. Сталі, отримані вакуумуванням, рафінуванням синтетичним шлаком і електрошлаковим переплавом відрізняються більш високими властивостями міцності вздовж і поперек прокатки, так як не забруднені шлаками і газовими включеннями. При електрошлаковому переплаві шкідливий вміст сірки знижується на одну третину, окисли переходять в шлак, а цінні легуючі добавки не вигоряють. Плавкові характеристики сталі і якість застосовуваних заготовок (Штаповок) для виготовлення зубчастих коліс істотно впливають на оброблюваність ріжучими інструментами і деформації зубчастого вінця на всіх стадіях термічної і хіміко-термічної обробки. Щоб відхилення профілю зубів і інші допуски при деформації зубчастого вінця змінювалися стабільно і не виходили за межі допустимих похибок, застосовують сталі певною прогартуваністю і спадково малозернисті. На прогартуваність сталі найбільший вплив робить хімічний склад, величина спадкового зерна, умови нагріву і охолодження. У зв'язку з цим в технічних умовах обумовлюють поставку сталі по зернистості і строго регламентованої прогартуваністю. Дуже важливо також застосування сталей з більш вузькими межами змісту вуглецю і легуючих елементів. Так як сталь при одному і тому ж хімічному складі має різну прогартуваність, кожену плавку перевіряють на прогартуваність.

При виборі сталі для шліфованих зубчастих коліс враховують теплостійкість сталі чим вона нижча, тим сталь більш схильна до утворення шліфувальних пропалів і тріщин. Про схильність сталі до дефектів при шліфуванні можна судити по її температурі відпуску, яка повинна бути підвищеною (більше 200 °C). Слід також враховувати, що в легованих сталях схильність до утворення тріщин при зубошліфуванні особливо збільшується зі збільшенням вмістом хрому. В окремих випадках для забезпечення необхідної

якості поверхонь зубів, що піддаються шліфуванню після хіміко-термічної обробки, проводиться відбір плавок за результатами ділометричного контролю.

Спосіб отримання заготовок зубчастих коліс впливає на службові властивості останніх, технологію їх виготовлення і витрата металу. При виготовленні мало навантажених зубчастих коліс діаметром до 50- 60 мм штучні заготовки економічно відрізати від каліброваного прута; при великих розмірах виготовлення заготовок з прутка стає неекономічним через збільшення відходів металу і вартості виготовлення. В цьому випадку утворення форми зубчастого колеса - висадка діафрагми і маточини, прошивка отвори – проводиться гарячої механічної обробкою – штампуванням або вільним куванням. При сильному нагріванні практично всі матеріали змінюють свої фізичні характеристики. У деяких випадках нагрівання проводиться цілеспрямовано, так як подібним чином можна поліпшити деякі експлуатаційні якості, наприклад, твердість. Термічна обробка протягом багатьох років використовується для підвищення твердості поверхні сталі. Виконувати гартування слід з урахуванням особливостей металу, так як технологія підвищення твердості поверхні створюється на підставі складу матеріалу. В даній роботі ми розглянемо сталь 40X. [9].

40X - хромомісткий залізовуглецевий сплав. Феромарганець і феросиліцій з масовою часткою відповідно 0,17 ... 0,37 та 0,5 ... 0,8% одночасно виступають розкислювачами сталевого сплаву й мікролегіручими елементами. Але на основні антикорозійні та міцності якості сталі 40X впливає введення хрому близько 1%. При забезпеченні нормативних механічних властивостей, ГОСТ 4543-71 допускає незначні відхилення в масовій частці основних компонентів: вуглець (C) –  $\pm 0,01\%$ , а кремній (Si), марганець (Mn), хром (Cr) –  $\pm 0,02\%$ .

Низьколегована сталь 40X характеризується високою механічною міцністю і досить доброю стійкістю до корозії. При порушенні технології обробки різанням і механічним інструментальним оснащенням може проявляти схильність до утворення тріщин. У термообробленому стані демонструє високу зносостійкість й твердість поверхні. Помірно чутлива до деформаційного старіння. Є важко зварювальним сплавом. Дуже схильна до відпускнуї крихкості і флокеночутлива. Правильно підібраний режим термічної обробки дозволяє знизити вміст водню в металі й тим самим мінімізує утворення флокенів.

Таблиця 3.1. Хімічний склад сталі 40X

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	P	S
0.36-0.44	0.17-0.37	0.5-0.8	≤0.3	0.8-1.1	≤0.3	≤0.03 5	≤0.03 5

Таблиця 3.2. Механічні властивості сталі 40X [16].

Термічна обробка	Межа плинності, (МПа)	Тимчасовий опір, (МПа)	Мінімальне відносне подовження,%	Відносне звуження,%
Загартування від 860°C в маслі, відпуск при 500°C	≥785	≥980	≥10	≥45

Дана сталь характеризується міцністю і великим ступенем твердості (217 Мпа). Вироби з неї здатні нести великі навантаження, і не руйнуватися.

При введенні до складу хрому, сплав набуває стійкість до корозії. Щільність 40х дорівнює 7820 кг / м<sup>3</sup>. Залежно від температури змінюються межа плинності і модуль пружності. При використанні цієї сталі необхідно враховувати її мінуси. Процес загартування підвищує крихкість, і знижує стійкість до механічних навантажень. Велика схильність до утворення флокенів.

### **3.2 Вплив легувальних елементів.**

Легованою називається сталь, в якій, крім звичайних домішок, містяться спеціально введені в певних поєднаннях легуючі елементи (Cr, Ni, Mo, W, V, Al, B, Ti і ін.), а також Mn і Si в кількостях, що перевищують їх звичайне зміст як технологічних домішок (1% і вище). Як правило, найкращі властивості забезпечує комплексне легування. Легування сталей і сплавів використовують для поліпшення їх технологічних властивостей. Легуванням можна підвищити межу плинності, ударну в'язкість, відносне звуження і прогартованість, а також істотно знизити швидкість гарту, поріг холодноламкості, деформованість виробів і можливість утворення тріщин. У виробках великих перетинів (діаметром понад 15...20 мм) механічні властивості легованих сталей значно вище, ніж механічні властивості вуглецевих сталей. Постійні (технологічні) домішки є обов'язковими компонентами сталей і сплавів, що пояснюється труднощами їх видалення як при виплавці (P, S), так і в процесі розкислення (Si, Mn) або з шихти - легованого металевого брухту (Ni, Cr і ін.). До постійних домішок відносять вуглець, марганець, кремній, сірку, фосфор, а також кисень, водень і азот. [7].

### **3.3 Методи дослідження матеріалів.**

Зубчасті колеса, які є основною частиною багатьох механізмів і агрегатів (коробки швидкостей, коробки передач і подач), повинні бути



виготовлені точно, так як похибка будь-якого з окремих елементів зубчастого колеса може викликати нерівномірність ходу, вібрацію, шум, що спричинить за собою передчасний знос і вихід з ладу деталей, а іноді і всього агрегату. Метою контролю крім перевірки коліс як готової продукції є визначення похибок зуборізних і інших верстатів, на яких виконувалася обробка коліс, а також виявлення стану застосовуваного для обробки ріжучого і вимірювального інструмента. Практика показала, що верстати, інструмент та термічна обробка є джерелами похибок окремих елементів зубчастого колеса; ексцентриситет початкової окружності є головним чином похибкою центрування зубчастого колеса на зуборізному верстаті або биття планшайби або шпинделя верстата. Неточність в кроці по початковій окружності може виходити з-за якості зуборізних інструментів, а також механізму верстата. Контроль елементів зубчастих коліс є операцією вельми трудомісткою, тому зазвичай у перших 2-3 зубчастих коліс, отриманих з зуборізного верстата, перевіряється ексцентричність початковій окружності, товщина зуба по хорді початкового кола, відхилення кроку і профілю. Абсолютно готові колеса перевіряються на ексцентричність і відхилення кроку і профілю, для чого вони вводяться в зачеплення з еталонним зубчастим колесом. У разі, якщо перші колеса виконані неточно і повинні бути забраковані, контролер негайно ставить до відома про це майстра або наладчика.

Макроскопічний метод дослідження - макроскопічним методом дослідження (макроаналізом) називається дослідження структури металів і сплавів неозброєним оком, а також за допомогою оптичних приладів (лупа, мікроскоп і т.ін.), які дозволяють одержати збільшення до 30 разів [9]. Структура металів, яку вивчають за допомогою макроаналізу, називають макроструктурою. Макроаналіз проводиться як в один, так і в два етапи. Перший етап – це вивчення поверхні металу без будь-якого його руйнування, а також вивчення зруйнованого місця деталі після її поломки, яке має назву злом. На цьому етапі макроаналізу визначають наявність і розподіл тріщин,

ливарних чи зварних раковин та інших дефектів металу. Другий етап включає в себе спеціальну підготовку поверхні металевого виробу шляхом шліфування вибраного для дослідження місця металу з наступним травленням цього місця спеціальними реактивами. Відшліфована і протравлена ділянка поверхні металу називається макрошліфом.

Мікроскопічний метод дослідження - мікроскопічним методом дослідження (мікроаналізом), називається дослідження структури металів і сплавів за допомогою мікроскопа на спеціально підготовлених зразках. Будова (структура) металів, яка вивчається мікроаналізом, називається мікроструктурою. Мікроаналіз дає можливість вивчати структуру металів і сплавів після різних видів обробки (деформації, термообробки та інші), а також дозволяє визначати форму, розмір та розташування різних елементів цієї структури, які мають назву структурних складових (зерен, включень різного роду та інші). Зразок металу, підготовлений для мікроаналізу, називають мікрошліфом. Виготовлення мікрошліфа складається з вирізування зразка, шліфування і полірування до дзеркального блиску його поверхні, яку було вибрано для дослідження. Щоб визначити мікроструктуру, дзеркальну структуру мікрошліфа піддають травленню спеціальними реактивами. Для сталі, наприклад, більш широко застосовують реактив, який являє собою 4-відсотковий розчин азотної кислоти ( $\text{HNO}_3$ ) у спирті чи воді. Для мікроаналізу використовуються металографічні мікроскопи ММУЗ, МИМ-6, МИМ-8. Ці мікроскопи працюють на принципі віддзеркалення світла від поверхні мікрошліфа, а тому вони дозволяють досліджувати будову тільки непрозорих предметів (металів, пластмас, металокераміки і т.п.). Якщо, мікрошліф має дзеркальну поверхню, то усе світло, яке падає на поверхню шліфа, відбивається і досягає дослідника, який бачить тільки рівну поверхню зразка і не спостерігає на ній ніякої структури металу. Щоб визначити структуру металу, як було описано вище, роблять травлення дзеркальної поверхні. Внаслідок цього правитель неоднаково розчиняє різні ділянки поверхні. Одні



ділянки розчиняються інтенсивно, другі менш інтенсивно, а треті зовсім не розчиняються. Таким чином, на поверхні зразка утворюється рельєф, котрий відповідає структурі металу.

### 3.3.1. Металографічні дослідження.

Під час роботи зубчастих передач у складі редукторів вертольотів Ми-8 та їх модифікацій виникають втомні руйнування зубчастих коліс по ободу. Такі руйнування зумовлені згинальними резонансними коливаннями коліс у робочому діапазоні частоти обертання. Схильність до руйнування коліс від резонансних вібрацій притаманна більше всього колесам конічних передач під час коливання їх в осьовому напрямку. Втомне руйнування конічного колеса, як правило, починається по ободу в основі зуба, і далі тріщина розвивається в колесі по формі його коливань. При великих резонансних напруженнях в радіальному напрямку можливий початок руйнування у маточини. Втомні руйнування від резонансних вібрацій можливі також у циліндричних зубчастих коліс під час їх коливань в радіальному напрямку як маси обода колеса на пружній основі – діафрагмі колеса. У зв'язку з відмовами редукторів з причини руйнування їх зубчастих коліс виникла необхідність пошуку підходів і шляхів вирішення задачі кількісної оцінки довготривалості зростання тріщин у зубчастих колесах під час проведення розслідувань тяжких льотних подій. Довготривалість експлуатації між двома сусідніми оглядами редуктора не повинна перевищувати час росту тріщини до критичних розмірів. Всі експлуатаційні руйнування зубчастих коліс першої ступені редукторів ВР-8А вертольота Ми-8, що мали місце, були пов'язані з наявністю в них дефектів матеріалу. Принципова різниця руйнувань полягала лише в тому, що попередньо зони дефектів матеріалу мали різні місця розташування, різну протяжність і форму. У двох випадках руйнування осередку розташовувались в частині ободу колеса біля зубців, а в одному випадку осередка розташовувалося у технологічного отвору недалеко від центрального отвору колеса (рис. 3.3.2). [9].

Контактні руйнування зубців є основною причиною відмов швидкохідних зубчастих коліс в добре змащуваних закритих передачах. Під час ремонту авіаційних двигунів із загальної кількості відбракованих зубчастих коліс до 85% складають колеса, відбраковані по причині контактних руйнувань зубців: вищерблювання і відшарування. На рисунку 3.3.1 представлений основний дефект косозубих коліс у вигляді вищерблювання. Пошкоджені ділянки розташовані на робочій стороні профілів зубців вздовж лінії крайкового контакту у торцевій поверхні. Основними причинами контактних руйнувань зубців є: концентрація навантаження на довжину і профіль зубців, наявність залишкових розтягуючих напружень на робочих поверхнях зубців, несприятливі експлуатаційні пошкодження профілів зубців і несприятливі впливи на зубці змащувальної рідини.

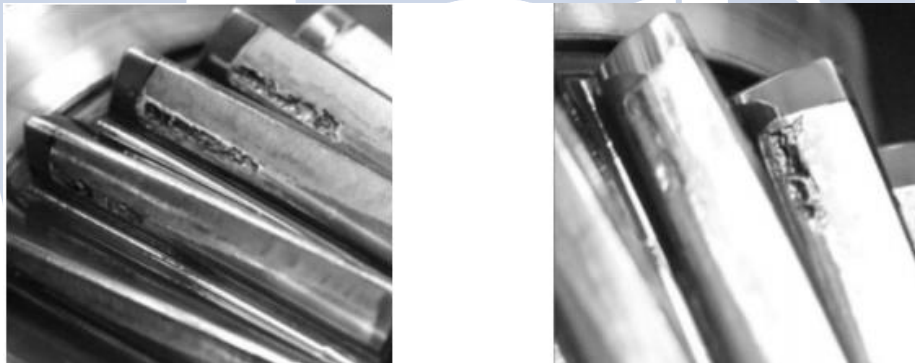


Рис. 3.3.1. Вищерблювання зубчастих коліс

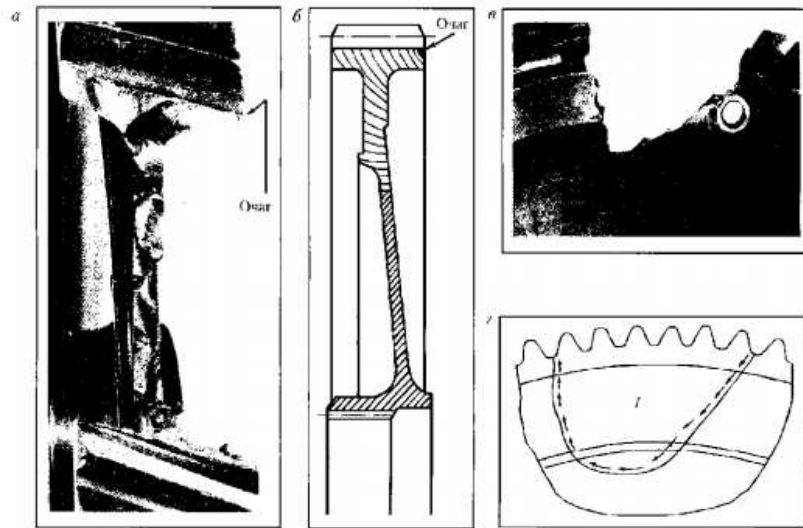


Рис. 3.3.2. Загальний вигляд (а) зруйнованого (в) зубчастого колеса вертольота Ми-8 (б), схема розповсюдження в ньому тріщини (г)

### 3.3.2. Випробування металу на твердість.

Твердість металу або сплаву дуже впливає на тривалість роботи деталей. Від твердості значною мірою залежить міцність деталі і стійкість поверхні до спрацювання. Для визначення твердості досліджуваної сталі застосовують метод Бринеля. Метод вимірювання твердості за Бринелем регламентований ГОСТ 9012-59.

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

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

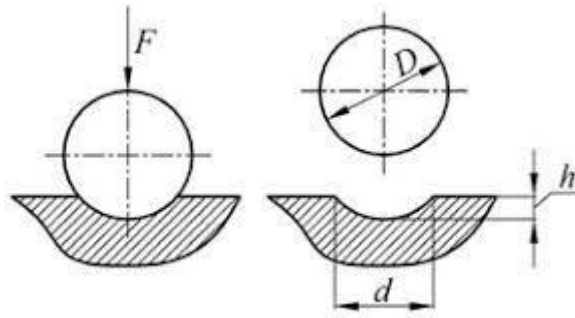


Рисунок 3.3.1 - Вимірювання твердості методом Бринеля.

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

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

**Висновки:** Зубчасті колеса виготовляються переважно з вуглецевих і легуваних сталей з термічної або хіміко-термічної їх обробкою. Ударна в'язкість сталі підвищується при введенні нікелю, молібдену, ванадію, кремнію і знижується при додаванні хрому і марганцю. Легування сталі хромом і марганцем забезпечує високу твердість і міцність, титаном і цирконієм – зменшує схильність до зростання зерна при перегріванні. Молібден, бор і ванадій підвищують прогартовуваність сталі, кремній – міцність і пружність, нікель і марганець - вміст залишкового аустеніту в

цементованому і нітроцементованому шарі. Для авіаційних зубчастих передач характерний розподіл навантаження між спряженими парами зубців. Найбільш небезпечним для роботи зубчастого вінця є крайковий контакт на вході в зачеплення і виході з нього. Досвід свідчить, що в цих точках мають місце максимальні контактні напруження. Редуктори авіаційної техніки, зокрема вертольотів, зазнають у польоті багаточастотне вібраційне навантаження в результаті багаточисельних взаємодій зубчастих коліс різних ступенів з різними швидкостями їх обертання. Існуючі вібрації можуть породжувати коливання дисків коліс, що призводить до виникнення багатоциклової втоми і швидкого вичерпання дисками їх довговічності. Збудження резонансних згинальних вібрацій коліс викликається динамічними навантаженнями в зубчастому зачепленні, джерелом яких є крутильні коливання зубчастих приводів під час обертання коліс. Особливо небезпечні підвищені динамічні навантаження в зачепленні, зумовлені резонансними крутильними і параметричними коливаннями зубчастих приводів.



## РОЗДІЛ 4.

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.

#### 4.1. Розробка маршрутної технології.

Актуальною проблемою зубчастих передач є створення основ управління якістю зубчастих коліс, забезпечення їх довговічності та надійності.

Плавкові характеристики сталі і якість застосовуваних штамповок для виготовлення зубчастих коліс істотно впливають на оброблюваність ріжучими інструментами і деформації зубчастого вінця на всіх стадіях термічної і хіміко-термічної обробки. Спосіб отримання заготовок зубчастих коліс впливає на службові властивості останніх, технологію їх виготовлення і витрата металу. При виготовленні мало навантажених зубчастих коліс діаметром до 50- 60 мм штучні заготовки економічно відрізати від каліброваного прута; при великих розмірах виготовлення заготовок з прутка стає неекономічним через збільшення відходів металу і вартості виготовлення. В цьому випадку утворення форми зубчастого колеса - висадка діафрагми і маточини, прошивка отвори - проводиться гарячою механічною обробкою – штампуванням або вільним куванням.

Заготовки, одержувані вільним куванням на молотах і кувальних пресах, відрізняються низькою якістю, так як через великі коливань розмірів, значної глибини дефектного шару і невідповідності конфігурації заготовки в формі готової деталі необхідно встановлювати великі припуски, що призводить до значних їх коливань, втрат металу і підвищенню ціни механічної обробки. Отримання заготовки вільним куванням в деякій мірі вирішує завдання правильного орієнтування волокон по відношенню до зуба, однак може бути використано тільки при одиничному або дрібносерійному виробництві зубчастих коліс. Температурний інтервал штампування заготовок і ступінь обтиску матеріалу закладають певні експлуатаційні якості майбутнього

готового зубчастого колеса. Якщо при цьому створена несприятлива структура і неправильно зорієнтовані волокна щодо зуба, то, як би не були оброблені зуби, вони будуть мати низькі фізико-механічні властивості, отже, малу довговічність і надійність. Нерівномірне уковування тягне за собою неоднакову щільність металу в заготівлі, що в сильному ступені впливає на оброблюваність ріжучими інструментами і неоднорідність наклепу металу при різанні, внаслідок чого виникають значні деформації вінця при термічній обробці. Щільні, досить прокувати заготовки забезпечують більш високу точність і клас чистоти при механічній обробці, значно зменшують викривлення при термічній обробці, що дозволяє знизити припуски на зубошліфування або перейти на менш трудомісткі процеси чистової обробки зубів - зубошевінгування, зубохонінгування. Напрямок волокон металу і текстура (переважна орієнтування зерен металу), що формуються під час виготовлення заготовок, сильно впливають на згинальну і контактну міцність зубів. Найбільш сприятливе розташування волокон по контуру зуба характерно для штампованих і торованих зубів. Найбільш сприятливе розташування волокон слід вважати найкращим, тому що робочі навантаження згинають волокно, а не відривають волокна одне від іншого. Неприпустимо розташування волокон, що збігається з напрямком найбільших дотичних напружень - під кутом  $40-45^\circ$  з нормаллю до профілю зуба. Щоб уникнути анізотропії механічних властивостей зуба і нерівномірних деформацій зубів при термічній обробці розташування волокон по обидва боки всіх зубів має бути ідентичним.

Важливою умовою отримання якісних заготовок заданої конфігурації з належним розташуванням волокон і однаковою щільністю металу є правильне визначення розмірів вихідної заготовки (болванки). Використання вихідних заготовок менших розмірів - недомірок - призводять до низької оброблюваності ріжучими інструментами і нерівномірної деформації зубчастих коліс внаслідок неоднакового обтиснення металу і різної щільності.



Заготовки зубчастих коліс штамуються осадкою круглої болванки в торець. Щоб уникнути вигину болванки і неправильного розташування волокон відношення довжини вихідної заготовки до її діаметру при штампуванні в один прийом має перебувати в межах 2-2,5, але не більше 3. Якщо відношення довжини болванки до її діаметра більше 3, висадка заготовки в один прийом виробляється в штампі, діаметр якого в півтора рази більше діаметра вихідної заготовки. Штампування перед механічною обробкою піддають термічній обробці для виправлення структури і додання сталі гарної оброблюваності ріжучими інструментами. Технологія термічної обробки штампованих заготовок в кожному окремому випадку розробляється з урахуванням технічних умов на підготовку структури до механічної обробки при встановлених режимах різання і відповідної геометрії і якості ріжучого інструменту. Опрацьований матеріал і його структура впливають не тільки на продуктивність зубонарізування, витрата дорогих ріжучих інструментів і шорсткість обробленої поверхні, але і на інтенсивність наклепу при механічній обробці, що викликає при остаточній термічній обробці, що викликає при остаточній термічній обробці значні деформації зубчастого вінця. Твердість штамповок повинна бути в межах 229-179 НВ (діаметр відбитка 4,0-4,5мм). Технічні умови на штампування і поковки призначають по галузевим стандартам в залежності від обраної групи контролю та категорії міцності заготовки.

#### 4.2. Технологічний маршрут виготовлення деталі «зубчасте колесо»

Найменування операції і її зміст	Верстат (обладнання)	Технологічні бази, пристосування
Заготівельна. штампування в горячештамповочних	Штамп об'ємного кування	-

пресах		
Термообробка	СДО-14.28.10/10.	Відпал
Токарська на ОЦ з ЧПУ	Токарний обробний центр OKUMA LB-300 МУ з віссю С	Необроблені торець і зовнішня циліндрична поверхня. пристосування: патрон трикулачний само центрована револьверна інструментальна головка
Зубофрезерний	Зубофрезерний верстат 5К310	Оброблені торець і зовнішня циліндрична поверхня. Пристосування: Прихоплювачі ручної фіксації. Патрон і оправлення для інструменту.
Протяжна	Горизонтально протяжний верстат 7Б56	Оброблені торець і зовнішня циліндрична поверхня.
Термообробка	СДО-14.28.10/10.	Гартування та високий відпуск
Токарська з ЧПУ	Токарний обробний центр OKUMA LB-300 МУ з віссю З	Необроблені торець і зовнішня циліндрична поверхня. пристосування: патрон трикулачні

		самоцентрований револьверна інструментальна головка
Термообробка	ТЕСЛАЙН 100Z- EM2013	Гартування СВЧ
Зубошліфувальні	Зубошліфувальних універсальний напівавтомат 5M841	Оброблені торець і зовнішня циліндрична поверхня. Пристосування: Прихоплювачі ручної фіксації.
Термообробка	СШЗ - 8.12 / 12	Низький відпуск
Контроль якості	Контрольний стіл	Зразки свідки

**Висновок.** Однією з найактуальніших проблем зубчастих передач є створення основ управління якістю зубчастих коліс, забезпечення їх надійності та довговічності. Вирішення цього завдання базується на ретельному вивченні і використанні взаємозв'язку конструкторських і технологічних факторів з експлуатаційними показниками зубчастих коліс і передач. Спосіб отримання заготовок зубчастих коліс впливає на службові властивості останніх, технологію їх виготовлення і витрата металу. Важливою умовою отримання якісних заготовок заданої конфігурації з належним розташуванням волокон і однаковою щільністю металу є правильне визначення розмірів вихідної заготовки. Опрацьований матеріал і його структура впливають не тільки на продуктивність зубонарізування, витрата дорогих ріжучих інструментів і шорсткість обробленої поверхні, але і на інтенсивність наклепу при механічній обробці, що викликає при остаточній термічній обробці значні деформації зубчастого вінця. Важливо відзначити,

що питання формування технологічного процесу, є комплексно важливим етапом оскільки від його точності та даних в ньому залежить якість отриманих деталей з урахуванням прояву технологічної надійності на всіх етапах виробництва і в експлуатації зубчастих передач.



## РОЗДІЛ 5.

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1. Розробка методу термічної обробки.

Розробка процесу термообробки починається з вивчення технічних умов на виріб. Зазвичай в технічних умовах вказується твердість поверхні виробу, товщина шару після термічної обробки, величина допустимої деформації та інші показники. Після вивчення технічних умов вибирають основні операції термічної обробки, тип обладнання, інструмент і т.д. Технологічний процес термічної обробки деталей включає в себе підготовчі, основні, оздоблювальні та контрольні операції.

Підготовчі операції включають в себе комплекс заходів, спрямованих на запобігання виробів від утворення тріщин і інших видів дефектів, наприклад, знежирення деталей перед азотуванням, укладання їх в піддони, захист та ізоляцію окремих місць і т.д.

Основні операції включають в себе нагрів виробів для загартування, нормалізації, відпалу, відпуску, ХТО і т.д., витримки та охолодження. Вибір виду термічної обробки обумовлюється технічними вимогами до поверхонь деталей по фізико-механічними властивостями.

Перевірки є заключними в технологічному процесі. У них входять контроль твердості, товщини шару після ХТО і гартування струмами високої частоти (СВЧ) і т.п. Контроль здійснюється як представниками організації виробника, так і замовника.

Всі види термічної обробки в залежності від призначення поділяються на попередні та остаточні.

Термічна обробка деталі «зубчасте колесо» складається з двох видів:

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



Це вид термічної обробки, який полягає в нагріванні деталей до певної температури, витримці при цій температурі і наступному охолодженні на повітрі.

Цілі нормалізації: поліпшення мікроструктури сталі, підвищення механічних властивостей і підготовка до подальшої термічної обробки; виправлення структури після кування і штампування деталей; виправлення структури при перегріві після зварювання деталей і зняти напруження в зварному шві; підвищення в виливках межі текучості і міцності, а також ударної в'язкості. Крім того, вона виконується для стабілізації структури металу і розмірів деталей - стабілізуюча.

Попередній термообробці піддаються заготовки деталей машин. До видів попередньої термічної обробки, як правило, відносяться: відпал, нормалізація, поліпшення.

Остаточна термообробка проводиться для додання необхідних експлуатаційних характеристик, таких як твердість та зносостійкість, поверхонь деталей машин. Всі деталі, що піддаються остаточній термообробці, можна розділити на дві групи. До першої групи належать деталі, що працюють на тертя, тому проведена термічна обробка повинна забезпечити необхідну твердість, зносостійкість поверхневого шару. До другої групи належать деталі, які відчують при роботі значні навантаження різного характеру: розтягують, згинальні, що крутять, контактні. Після відливання, прокатки і кування сталеві заготовки охолоджуються нерівномірно результатом чого є неоднорідність структури і властивостей в різних місцях заготовок, а також поява внутрішніх напружень. Крім того, при затвердінні виливка виходять неоднорідними за складом внаслідок ліквідації. Відпал - вид термічної обробки, що полягає в нагріванні сталі, витримці при заданій температурі і наступному повільному охолодженні разом з піччю. Метою відпалу є отримання однорідної зерен мікроструктури, розчинення включень, спростити механічну обробку металу, а також підготувати його для подальшої

термічної обробки і отримання необхідних механічних властивостей і параметрів.

В результаті відпалу утворюється стійка структура, вільна від залишкових напружень. Академік А.А. Бочвару дав визначення структури з не рівноважного стану в більш рівноважний (повернення, або відпочинок, відпал рекристалізації, або рекристалізація, відпал для зняття внутрішніх напружень і дифузний відпал, або гомогенізація); відпал другого роду – зміна структури сплаву за допомогою перекристалізації близько критичних точок з метою отримання рівноважних структур; до відпалу другого роду відноситься повний, неповний і ізотермічний відпал [8]. Циліндричні колеса, що мають симетричну форму, менш схильні до викривлення, ніж конічні. Однак, якщо діаметр циліндричних коліс значно (більш ніж в 6-8 разів) перевищує їх товщину, то для зменшення викривлення потрібно і такі колеса гартувати в штампах. Якщо головною вимогою є збереження точних розмірів отвору зубчастого колеса, то слід застосовувати досить простий спосіб загартування на оправці. В цьому випадку зубчасте колесо нагрівається у вільному стані, а перед зануренням в гартівну рідину в неї вставляється оправлення, разом з якою вона гартується. Рекомендується робити діаметр оправки на 0,2 мм менше мінімально допустимого діаметра отвору колеса. Гартування проводять з підвищеною швидкістю охолодження з метою отримання нерівноважних структур типу мартенситу. Критична швидкість охолодження, яка необхідна для гартування, залежить від матеріалу.

Гартування струмами високої частоти поряд з іншими перевагами дозволяє звести до мінімальної величини викривлення колес. Залежно від марки сталі і розмірів зубчастих коліс такий гарт здійснюється різними способами. Розмір зубів зубчастого колеса прийнято характеризувати величиною модуля, який представляє собою число, що виходить від ділення кроку зубів на величину  $\pi$  (3,14). При виготовленні слабо-навантажених зубчастих колес з невеликим модулем (до 4 мм) роблять наскрізне гартування

зубів. З цією метою за допомогою індуктора одночасно нагрівають всі зуби наскрізь. Потім проводять охолодження водяним душем або шляхом занурення всього колеса в масло. При цьому зуби прогартовуються наскрізь і, крім того, на невелику глибину (до 5 мм гартується обід зубчастого колеса). Після гарту слідує низький відпуск. Якщо такі колеса виготовлені з сталі 40X, то після гартування твердість на поверхні зуба досягає HRC 60, а серцевини - HRC 45-55. Це призводить до підвищеної крихкості зубів, і тому робить непридатними такі колеса для роботи в умовах великих, особливо ударних навантажень.

Індукційний нагрів (СВЧ) є процесом нагрівання металу, електромагнітна індукція, де вихрові струми генеруються всередині металу, і опір призводить до джоулевого нагрівання металу. Індукційне нагрівання є формою безконтактного нагрівання, коли змінюється струм в індукційній котушці змінюється навколо котушки, циркуляційний струм генерується в заготовці (електропровідний матеріал), тепло виробляється, коли вихрові струми течуть проти резистентності матеріалу. Індукційний нагрів дозволяє скоротити тривалість термічної обробки, отримувати вироби без окалини, що зменшує величину припуску на подальшу механічну обробку і зменшує деформацію і викривлення виробів в процесі термообробки.

Мета СВЧ: підвищення твердості, підвищення зносостійкості, підвищення межі витривалості.

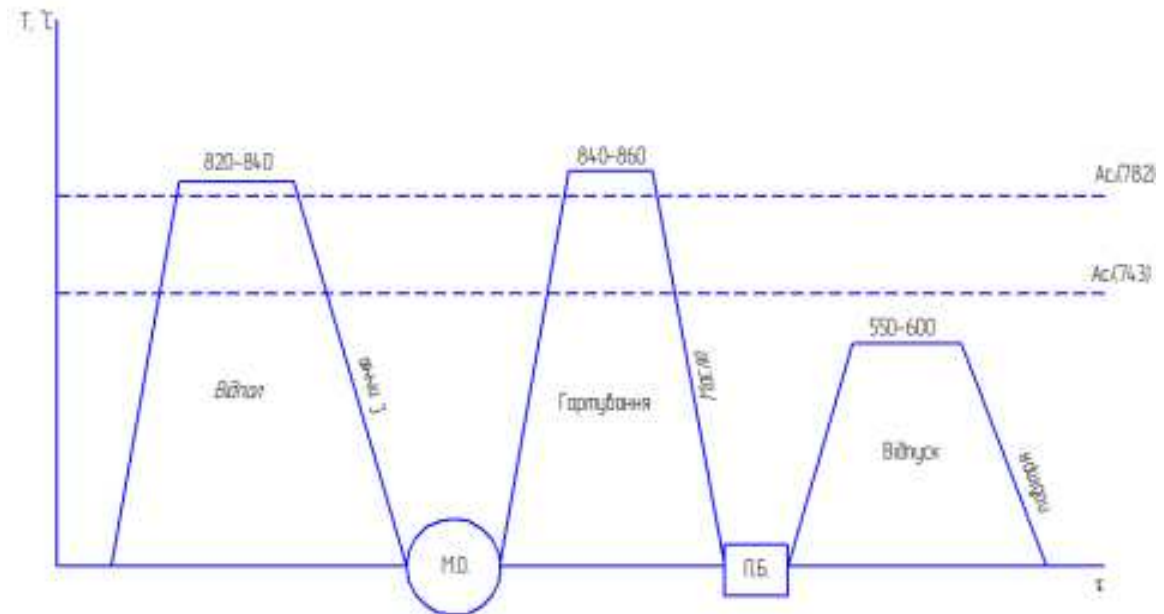


Рисунок 5.1 – Графік термічного оброблення деталі «зубчасте колесо», виготовленої зі сталі 40X

Структура сталі 40X після етапів термічної обробки представлена на рисунку 5.2.

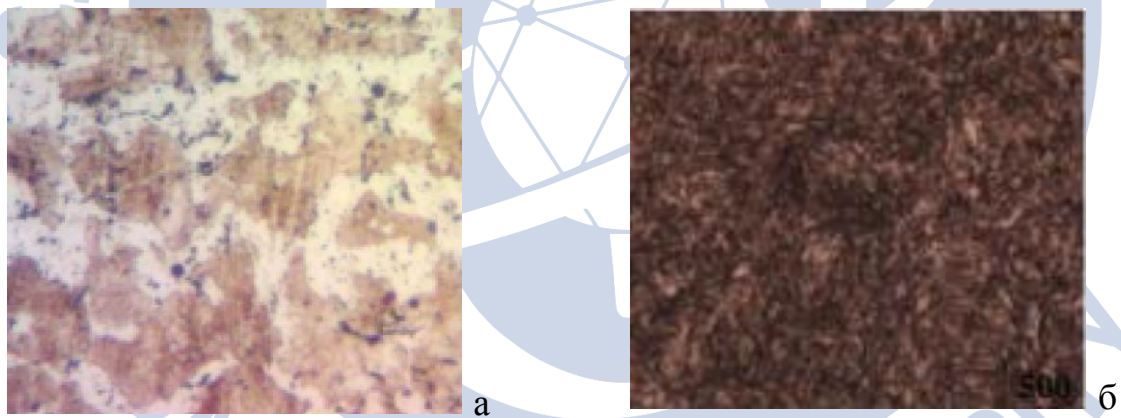


Рисунок 5.2– Структура сталі 40X: а) після відпалу (ферит і перліт),  $\times 500$ ; б) гартування і високого відпуску (сорбіт відпуску),  $\times 500$

Та розглянемо остаточну термічну обробку деталі до якої входить відпал, гартування с СВЧ та низькотемпературний відпуск (Рисунок 5.3.), структура сталі 40X після остаточної ТО (Рисунок 5.4.).

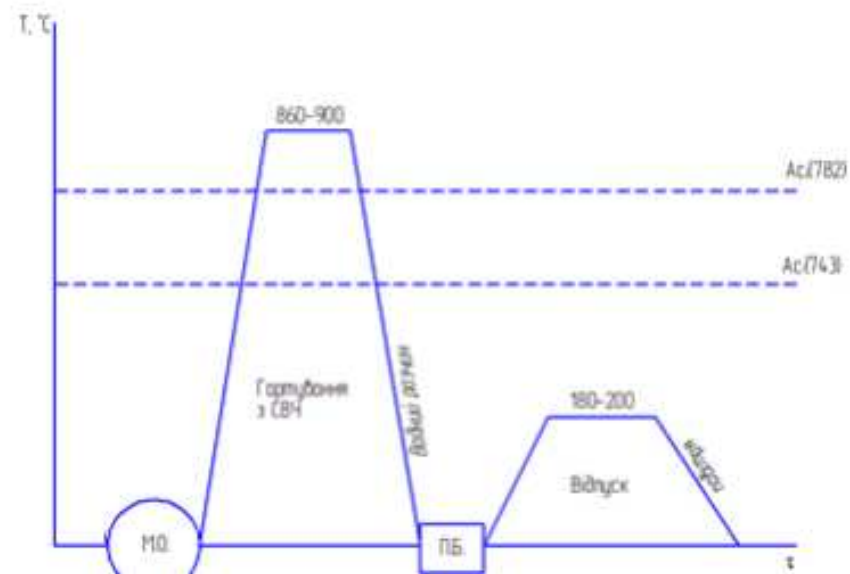


Рисунок 5.3 – Остаточна термообробка деталі «зубчасте колесо» зі сталі 40Х.



Рисунок 5.4—Структура сталі 40Х після СВЧ та низького відпуску (мартенсит відпуску),  $\times 500$

## 5.2. Розрахунок виробничої програми.

Для виготовлення певного об'єму готового виробу потрібна деяка кількість обладнання та устаткування. Для проведення термічної обробки на певну кількість виробів в рік потрібно розрахувати кількість необхідного



обладнання. В це обладнання входить основне металургійні печі, допоміжне до яких входять: ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюризатору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, експрес - лабораторії з аналізу матеріалів.

Розрахунок основного обладнання

Встановлюємо річну програму з виготовлення зубчастих коліс 100000 штук.

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

- діаметр деталі  $d = 0,055$  м;
- довжина поверхні деталі  $l = 0,01$  м;
- маса деталі  $m = 0,12$  кг = 1 кг.

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

$$100000 * 0,12 = 12000 \text{ кг.}$$

Розрахуємо кількість та КПД печей:

- СДО – 14.28.10/10, продуктивність печі для відпалу = 100 кг/год. 59

$$PO = 12\ 000 \text{ кг; } \Phi_d = 1808 \text{ год; } \tau_O = 5 \text{ год; кількість садки - 400 штук.}$$

$$MO = 400 * 0,12 = 48 \text{ кг}$$

$$PO = MO / \tau_O = 48/5 = 9,6 \text{ кг / год}$$

$$KP = 12\ 000 / (9,6 * 1808) = 0,699$$

$$\eta = (0,699 / 1) * 100\% = 69,9\% - \text{Обираємо 1 піч.}$$

- СДО – 14.28.10/10, продуктивність печі для гартування = 100 кг/год.

$$PO = 12\ 000 \text{ кг; } \Phi_d = 1808 \text{ год; } \tau_O = 2 \text{ год; кількість садки - 200 штук.}$$

$$MO = 200 * 0,12 = 24 \text{ кг } PO = MO / \tau_O = 24/2 = 12 \text{ кг / год}$$

$$KP = 12\ 000 / (12 * 1808) = 0,553$$

$$\eta = (0,553 / 1) * 100\% = 55,3\% - \text{Обираємо 1 піч.}$$

- 100Z-EM2013, продуктивність = 60 кг/год. продуктивність = 60 кг/год.

$PO = 12\ 000\ \text{кг}; \Phi_d = 1808\ \text{год}; \tau_O = 0,3\ \text{год};$  кількість садки - 20 штук.

$MO = 20 * 0,12 = 2,4\ \text{кг}$

$PO = MO / \tau_O = 2,4/0,3 = 8\ \text{кг} / \text{год}$   $KP = 12\ 000 / (8 * 1808) = 0,829$

$\eta = (0,829 / 1) * 100\% = 82,9\%$  - Обираємо 1 пристрій.

Розраховуємо час нагріву і витримки усього процесу виготовлення деталі:

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

де  $\tau_n$  – час нагріву;

$\tau_v$  – час витримки.

$\tau_n = 0,1D_1 * k_1 * k_2 * k_3$ , де  $D_1$  – розмірна характеристика виробу,  $\min$  і  $\max$  розмір перетину деталі;

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

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

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

$\tau_n$  відпалу = 80 хвилин;  $\tau_v$  відпалу = 3 години.

$\tau_n$  гартування = 80 хвилин;  $\tau_v$  гартування = 30-40 хвилин.

$\tau_n$  гартування СВЧ = 0 хвилин;  $\tau_v$  гартування СВЧ = 5-10 хвилин.

$\tau_n$  відпуску = 80 хвилин;  $\tau_v$  відпуску = 3 години.

Тепер знаходимо загальний час, кожної термічної обробки за формулою:

$\tau = \tau_n + \tau_v$ ,  $\tau$  відпалу = 5 годин;

$\tau$  гартування = 2 години;  $\tau$  відпуску = 5 годин;

$\tau$  гартування СВЧ = 5-10 хвилин;

$\tau$  відпуску = 5 годин;

Загальний час виготовлення деталі:  $\tau = \tau$  нормалізації +  $\tau$  гартування +  $\tau$  відпуску = 18 годин.

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

Оскільки термічна обробка є невід'ємною частиною виготовлення кожного інструменту та деталей машин для її проведення потрібне спеціальне устаткування. Цим устаткуванням є металургійні печі. Сучасні печі являють собою різноманітні за конструкцією, складні теплові агрегати. Вони складаються з власне печі і допоміжного обладнання. Власне піч включає в себе виробничі приміщення та відповідні пристрої для генерації теплоти: пальники, форсунки, фурми в паливних печах і електроди, резистори в електричних печах. До складу допоміжного обладнання входять пристрої для утилізації теплоти і очищення йдуть з печі димових газів, вентилятори, димососи, трубопроводи з клапанами і засувками, димові труби, контрольні пристрої для управління піччю.

На основі розробленого процесу і режиму термообробки для забезпечення виконання технологічного процесу необхідно використовувати:

- СДО – 14.28.10/10 – відпал;
- СДО – 14.28.10/10 – гартування;
- СШЗ - 8.12 / 12 – високотемпературний відпуск;
- 100Z-EM2013– гартування СВЧ;
- СШЗ - 8.12 / 12 – низькотемпературний відпуск;

При одному і тому ж типі обладнання можна виконувати різні за тривалістю операції термічної обробки, що змінює значення продуктивності обладнання, то продуктивність будемо визначати розрахунковим шляхом.

Для проведення відпалу та гартування зубчастого колеса обираємо піч з видвижним подом марки СДО-14.28.10/10.

Технічні характеристики печі СДО-14.28.10/10:

Напруга живильної мережі, В - 380

Частота струму, Гц - 50

Встановлена потужність, кВт - 258

Номинальна температура в робочому просторі, °С 100

Напруга на нагрівачах по зонам, кВт:

I - 170,2

II, III - 197,7 число фаз - 3

Число теплових зон - 3

Потужність по зонам, кВт:

I - 59,7

II - 130,2

III - 67,9

Маса садки, т - 10

Середовище в робочому просторі окислювальне

Питома витрата електроенергії, Вт • год / кг - 0,41

Розміри робочого простору, мм - 1400\*2800\*1000 56

Маса електропечі, т - 28,0

Обладнання для проведення зміцнювальної термічної обробки.

Для поверхневого гартування деталей використовують індукційні гартівні універсальні установки з машинним генератором, вертикального (ІЗУВ) і горизонтального (ІЗУГ) положення. При виборі типу і потужності установки для гартування деталей СВЧ необхідно орієнтуватися на розміри оброблюваної деталі, необхідну глибину загартування і частоту струму.

Для ТВЧ гарту деталей і наскрізного нагрівання заготовок "ТЕСЛАЙН 100Z-EM2013" (Рисунок 5.1.)

Максимальний діаметр індуктора - 360мм.

Потужність - 100 кВт.

Частотний діапазон - 15 ... 66кГц.

Габаритні розміри (ДхШхВ) - 450х500х950мм.

Вага - 85кг.



Рисунок 5.1. - Установка індукційного нагріву "ТЕСЛАЙН 100ZEM2013"

Для проведення високотемпературного та низькотемпературного відпуску обираємо шахтну муфельну піч марки СШЗ - 8.12 / 12, загальний вигляд якої представлений на рисунку 5.1.

Розміри робочого простору мм 800x1200

Максимальна температура °С 1200

Номінальна потужність кВт 38,4

Одноразова завантаження кг 1000

Число теплових зон - 1

Параметри мережі живлення Вольт 3x380

На термічній ділянці, в якості ємності для охолодження при гартуванні і відпуску, використовується масляний гартівний бак моделі БЗМ - 12.9.8.

Зовнішні габарити (ДхШхВ) мм 1400x1080x900

Габарити робочої зони (ДхШхВ) мм 1200x900x800

Обсяг м<sup>3</sup> 0,86

Максимальна маса садки Кг 200

Потужність кВт 12

Напруга Вольт 220



Допоміжне обладнання - це обладнання, яке використовується для різних допоміжних операцій виробничого циклу. Прикладом такого обладнання є вантажопідйомні механізми, установки для приготування захисної атмосфери, пристрої для охолодження гартівних рідин і теплового контролю, механізація теплових агрегатів, конвеєри, прилади контролю якості виробів, і т.д. Як вантажопідйомного механізму на термічному ділянці застосовується мостовий кран моделі ItecoKran - 105. На ділянці термічної обробки також є твердомір, розташований на ділянці контролю. Стационарний твердомір TP 5008A призначений для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла відповідно до ГОСТ 9013-59. Він оснащений електромеханічним приводом з мотором, забезпечує зачеплення необхідних вантажів.

#### **5.4. Проектування термічного відділення.**

Головними елементами виробничої структури підприємства є робочі місця, ділянки і цеху. Ділянка виробничий підрозділ, що об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального виробничого процесу по виготовленню продукції або обслуговування виробничого персоналу. Для розміщення проектованої ділянки цеху, з шкідливими газовиділеннями і значними надлишками тепла (більше 20 ккал / м<sup>3</sup> на годину), як правило, має використовуватися одноповерхова будівля прямокутної форми, що забезпечує найбільш ефективне видалення шкідливих речовин звичайним шляхом. При компонованні термічного цеху в загальному корпусі з іншими цехами виробниками (ковальський, механічний), цех слід розташовувати у найбільш протяжній стороні, уздовж зовнішньої стіни корпусу з метою покращення операцій. Всі елементи будинку термічного цеху відносяться до категорії Т за ознакою пожежонебезпеки і повинні виконуватися з негорючих матеріалів, що відповідають I і II ступенях вогненебезпечності. Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м, встановлюється в залежності від схеми розміщення обладнання і необхідної ширини проїздів. У проектованому цеху приймаються наступні сітки колон 12

х 18, 12 х 24, для кранових будівель 12 х 24, 12 х 30 для будинків обладнаних кранами. Прольоти 6, 9 і 12 метрів. Висота прольоту приймається в залежності від умов роботи. Для термічної ділянки, яка характеризується значним теплом і не вимагає утеплення покриття, проектуємо його з азбоцементних листів. На ділянці застосовуємо світло аерозольні ліхтарі "П"-подібного профілю. Покриття підлог на ділянці використовуємо не слизьке, яке легко очищається від забруднень. Для монтажу і ремонту устаткування використовується підвісне обладнання (кран), і транспортні пристрої (кари, навантажувачі). Термічні цехи характеризуються великою кількістю інженерних комунікацій, установка і монтаж яких ускладнює нормальне проведення технологічного процесу і не задовольняє вимогам промислової естетики. Питання раціонального розміщення комунікацій, допоміжного обладнання та складських приміщень може бути вирішене шляхом спорудження, тунелів підвалу або технологічного поверху. Для визначення геометричних параметрів ділянки необхідно розрахувати її площу. Загальна площа ділянки за призначенням ділиться на:

- виробничу;
- допоміжну;
- контрольно-побутову.

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

До складу допоміжних площ входять:

ділянки контролю термічної обробки;

проїзди для внутрішнього транспортування вантажів;

площі, займані установками для приготування карбюратору;

- Майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування;

- Експрес - лабораторії з аналізу матеріалів і технологічних параметрів карбюраторів.

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

Розрахунок площі цеху:

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

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

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

$S_{ВСП}$  - допоміжна площа.

$$S_{ПОЛ} = \sum S_i,$$

$S_i$  - площа для даного обладнання.

$$S_{ПОЛ} = 405 \text{ м}^2$$

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

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

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

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

Отриману  $S_{ЗАГ}$  розбивають на сітку колон. Таким чином, ми отримуємо термічний ділянку розмірами:  $42 \times 18 = 756 \text{ (м}^2\text{)}$ .

### 5.5 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці

Термічні цехи в своєму складі мають: виробничі ділянки; допоміжні окремі (склади); склади готової продукції, допоміжних матеріалів, пристосовування; трансформаторні підстанції; службові і побутові

приміщення. Склад площ змінюється в залежності від розміру і структури цеху, характеру технологічних процесів та інших особливостей. В основу розстановки обладнання на плані і розрізах цеху повинні бути покладені: 1) Намічена компоновочна схема технологічного вантажопотоку, що не допускає перетину шляхів руху оброблюваних виробів. Виняток може бути тільки для цехів індивідуального і дрібносерійного виробництва, але при цьому загальний вантажопотік повинен йти в одному напрямку. 2) Можливість обслуговування і ремонту устаткування. 3) Організація між операційного транспорту оброблюваних виробів. При встановленні схеми розташування устаткування необхідно врахувати, що печі повинні розташовуватися уздовж зовнішніх стін. Ділянки з токсичними, які здійснюють шум обладнанням повинні бути розміщені в окремих приміщеннях, ізольованих від пічного залу. Проїзди і проходи бажано розміщувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей у зовнішніх стін.

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

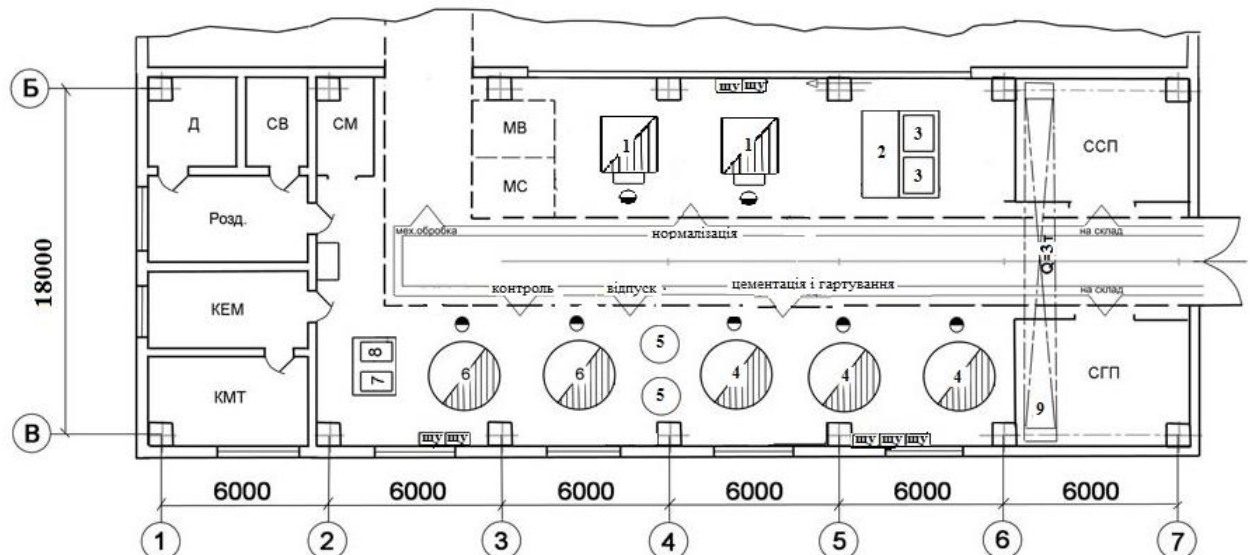


Рисунок 5.2 - Планування ділянки ТО деталі «зубчасте колесо»: 1 - піч для відпалу і гартування СДО – 14.28.10/10; 2, 3 - місце складування; 4 - гартівний

бак з маслом; 5 - мийна машина; 6 - піч для відпуску СШЗ - 8.12 / 12; 7 - твердомір ТШ-2; 8 - твердомір ТК-2, 9 – електротельфер

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

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

**Висновки:** Після вивчення технічних умов вибирають основні операції термічної обробки, тип обладнання, інструмент і т.д. Основні операції включають в себе нагрів виробів для відпалу, гартування, відпуску, ХТО і т.д., витримки та охолодження. Вибір виду термічної обробки обумовлюється технічними вимогами до поверхонь деталей по фізико-механічними властивостями. Циліндричні шестерні, що мають симетричну форму, менш схильні до викривлення, ніж конічні. Якщо головною вимогою є збереження точних розмірів отвору шестерні, то слід застосовувати досить простий спосіб загартування на оправці. В цьому випадку шестерня нагрівається у вільному стані, а перед зануренням в гартівну рідину в неї вставляється оправлення, разом з якою вона гартується. Гартування струмами високої частоти поряд з іншими перевагами дозволяє звести до мінімальної величини викривлення шестерень. Оскільки термічна обробка є невід'ємною частиною виготовлення кожного інструменту та деталей машин для її проведення потрібне спеціальне устаткування. Цим устаткуванням є металургійні печі. Сучасні печі являють собою різноманітні за конструкцією, складні теплові агрегати. Вони складаються з власне печі і допоміжного обладнання. Допоміжне обладнання - це обладнання, яке використовується для різних допоміжних операцій виробничого циклу. прикладом такого обладнання є вантажопідйомні механізми, установки для приготування захисної атмосфери, пристрої для



охолодження гартівних рідин і теплового контролю, механізація теплових агрегатів, конвеєри, прилади контролю якості виробів, і т.д.



## ВИСНОВКИ

В процесі роботи над випускною кваліфікаційною роботою отримані наступні результати.

1. Проведений аналіз умов роботи деталі і визначені вимоги до матеріалу виробу. Зубчасті колеса є основними деталями більшості машин і механізмів. Вони служать для передачі обертальних рухів між окремими елементами механізмів. Відмова або руйнування зубчастого колеса тягне за собою припинення передачі крутного моменту і відмова рухових агрегатів. Найбільш завантаженою частиною зубчастого колеса є зуб. Умови роботи зубчастих коліс визначаються їх швидкохідністю, рівнем контактних і згинальних навантажень. В процесі експлуатації зуби зубчастих коліс піддаються: вигину, контактним напруженням на бічних робочих поверхнях зубів, зносу бічних поверхонь. Згідно з умовами роботи до найбільш частих поломок при роботі відноситься: викришування, абразивне зношування й заїдання поверхонь зубів, а також злам зуба. Викришування, абразивне зношування й заїдання обумовлені поверхневою міцністю, а злам – об'ємною міцністю зубів.

2. Проведено аналіз матеріалів для виготовлення деталей зубчастих передач і обранасталь 40Х. Традиційні методи поверхневого зміцнення мають ряд недоліків. Для забезпечення максимальної несучої здатності зубчастого колеса необхідно оптимізувати компоновку поверхневого шару за принципом мінімізації напружено-деформованого стану. Досягти цієї мети можна за рахунок зміцнення поверхні зубів і в першу чергу на небезпечних ділянках за рахунок нанесення зміцнюючих покриттів з градієнтною структурою по глибині, створення в поверхневих шарах залишкових напружень стиску з оптимальним значенням і зміцнення серцевини зуба. Шестерні повинні мати досить високу міцність, поверхневу твердість і зносостійкість, що забезпечує надійну роботу зубчастої передачі при найменших її габаритах і масі. Тому

шестерні виготовляються переважно з вуглецевих і легованих сталей з термічної або хіміко-термічної їх обробкою.

3. Після вивчення технічних умов вибирають основні операції термічної обробки, тип обладнання, інструмент і т.д. Основні операції включають в себе нагрів виробів для відпалу, гартування, відпуску, ХТО і т.д., витримки та охолодження. Вибір виду термічної обробки обумовлюється технічними вимогами до поверхонь деталей по фізико-механічними властивостями. Циліндричні шестерні, що мають симетричну форму, менш схильні до викривлення, ніж конічні. Якщо головною вимогою є збереження точних розмірів отвору шестерні, то слід застосовувати досить простий спосіб загартування на оправці. В цьому випадку шестерня нагрівається у вільному стані, а перед зануренням в гартівну рідину в неї вставляється оправлення, разом з якою вона гартується. Гартування струмами високої частоти поряд з іншими перевагами дозволяє звести до мінімальної величини викривлення шестерень. Оскільки термічна обробка є невід'ємною частиною виготовлення кожного інструменту та деталей машин для її проведення потрібне спеціальне устаткування.

4. Запропоновано обладнання (основне, допоміжне, контролю) для забезпечення виконання технологічного процесу термічної обробки деталі «зубчасте колесо». Спланована умовна ділянка для проведення термічної обробки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Балтер М.А. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей. Москва: Машиностроение, 1987. 160 с.
2. Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н. Технология упрочнения машиностроительных материалов. Киев, Професионал, 2006, 352 с.
3. Сысоев, С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов / С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 352 с
4. Пегашкин В. Ф., Обработка зубчатых колес: учебн. пособие/ сост.; М-во образования и науки РФ: ФГАОУ ВО «УрФУ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижний Тагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 132 с.
5. Методи дослідження структури металів і сплавів: Методичні вказівки до проведення занять (вип. і доп.). – Х.: ХНТУСГ, 2011. – 22 с.
6. Неснов Д. В., Фролов О. В., Корецька І. М. Зубчасті передачі: навч. посібник.— Донецьк: ДонНТУ, 2009.— 45 с.
7. Кузін О. А., Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. - Львів :Афіша, 2002. – 304 с.
8. Авиационные зубчатые передачи и редукторы; под ред. Э.Б. Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1982. – 375 с.
9. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Металлургия, 1986. 480 с
10. Бондаренко С.І., Карпенко В.О., Нестеренко О.А., Пірогова Л.В. Характер і причини руйнування шестерень дорожньо-будівельних і сільськогосподарських машин. Вестник ХНАДУ. - Вып. 54. - 2011.
11. Демковський І.П. Методичні вказівки до виконання завдання з креслення до теми «Зубчасті зачеплення» для студентів машинобудівних спеціальностей. Харків: НТУ «ХПІ», 2008. 26 с.

12. Піпа Б.Ф. Прикладна механіка і основи конструювання: конспект лекцій. Київ: КНУТД, 2008. 83 с
13. Васильев С.Г., Попцов В.В. Повышение твердости поверхности деталитермическим воздействием с использованием деформирующего резания. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2011, № 12, с. 37-43.
14. Борисенок Г. В., Васильев Л. а., Ворошнин Л. Г. Химикотермическая обработка металлов и сплавов. Справочник. — М.: Металлургия, 1981. — 255 с.
15. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. — М. : Металлургия, 1984. — 360 с.
16. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин. — М. : Машиностроение, 1989. — 640 с.
17. Башнин Ю.а. Технология термической обработки стали / Ю.а. Башнин. — М. : Металлургия, 1986. - 424 с.
18. Дальский а.М. Технология конструкционных материалов / а.М. Дальский — М. : Машиностроение, 1977. - 664 с.
19. Гуляев а.П. Материаловедение / а.П. Гуляев. — М. : Металлургия, 1976. — 647 с.
20. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов : учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. - Металлургия, 1986. - 480 с.
21. Ляхович Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Л.С. Ляхович. — М. : Металлургия, 1981. — 424 с.
22. Иванов М.Н. Детали машин : учебник для вузов / М.Н. Иванов. - М., «Высш. школа», 1991. — 330 с.
23. Ерохин а.В. Механизация и автоматизация в термических цехах : учебник для вузов / а.В. Ерохин, С.К. Самохин. — М. : Машгиз, 1953. — 478 с.
24. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов / К.Н. Соколов. — К. : Высш. шк., 1984. - 328 с.



