

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра прикладного матеріалознавства і технології
конструкційних матеріалів**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

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

Виконав:

студент Ніконенко Антон
Володимирович

Залікова книжка
№ 19510095

Підпис _____

Захищена з оцінкою

Оцінка, дата

Керівник:

Говорун Тетяна Павлівна

Підпис _____

Секретар ЕК

_____ Марченко К.С.
Прізвище, підпис

Суми 2022

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

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

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Ніконенку Антону Володимировичу, група МТ-81-9

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

2. Вихідні дані: Креслення деталі «конічне зубчасте колесо» та вимоги до неї вказані на кресленні

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу

- 1) Креслення деталі.
- 2) Графік термічної обробки деталі

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1 Характеристика та умови експлуатації деталі «конічне зубчасте колесо»	X			
2	Розділ 2 Огляд і аналіз літератури	X			
3	Розділ 3 Вибір матеріалу та методів дослідження		X		
4	Розділ 4 Розроблення маршрутної технології виготовлення деталі «конічне зубчасте колесо»			X	
5	Розділ 5 Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 26.04.2022 р.

Керівник _____
(підпис)

_____ (посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 61 сторінку, зокрема 10 таблиць, 20 рисунків, список із 73 використаних джерел на 11 сторінках, 1 додаток на 4 сторінках.

Метою роботи є розробка раціональної технології хіміко-термічної обробки конічного зубчастого колеса, в результаті якої будуть досягнуті необхідні властивості, що забезпечують надійну і довговічну роботу деталі в заданих умовах експлуатації.

Методи досліджень: стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі для виготовлення конічного зубчастого колеса та сучасні металографічні методи дослідження, що включають мікроскопічний і макроскопічний аналіз, теоретичні і практичні методи, огляд літературних джерел і патентний пошук.

Зубчасте колесо це одна з найбільш поширених деталей в сучасному машинобудуванні, бо зубчасті передачі широко застосовують у сучасних машинах і механізмах. Зуби коліс повинні володіти достатньо високими міцністю, твердістю, здатністю чинити опір стиранню і іншими властивостями, що забезпечують надійну роботу зубчастої передачі при найменших її габаритах і масі. Основними причинами, що впливають на зниження надійності і довговічності зубчастих коліс, є різні види зношування та пошкодження їх робочих поверхонь, а також втомні руйнування.

Матеріал для виготовлення коліс повинен відрізнитись довговічністю, надійністю і витримувати динамічні навантаження. Зубчасті колеса виготовляють переважно з вуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю 0,1-0,6 % з термічної або хіміко-термічною обробкою, що дозволяє отримати високу твердість поверхні зубів при збереженні в'язкої серцевини.

Ключові слова: конічне зубчасте колесо, конічно-циліндричний редуктор, твердість, термічна обробка, цементация, низький відпуск.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ...	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1.....	10
ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ «КОНІЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО».....	10
1.1 Застосування циліндрично-конічних та конічних передач в редукторах..	10
1.2 Конічно-циліндричний редуктор і його характеристики	12
1.3 Аналіз умов роботи деталі «конічне зубчасте колесо».....	13
1.4 4 Вимоги до матеріалу конічного зубчастого колеса і стану поверхні.....	18
1.5 Можливі причини виходу із ладу конічних зубчастих коліс.....	22
Висновки.....	24
РОЗДІЛ 2.....	25
ОГЛЯД І АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ.....	25
2.1 Методи отримання і покращення механічної обробки зубчастих коліс... ..	25
2.2 Застосуванні термічної та хіміко-термічної обробки для зміцнення поверхні зубчатих коліс.....	27
Висновки.....	31
РОЗДІЛ 3	32
ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
3.1 Матеріали зубчастих коліс.....	32
3.2 Вибір матеріалу деталі «конічне зубчасте колесо».....	34
3.3 Вплив легуючих елементів на властивості сталі 18ХГТ.....	36
3.4 Вибір методів дослідження.....	38
Висновки.....	39
РОЗДІЛ 4	40
РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ«КОНІЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО».....	40
4.1 Вибір методу отримання заготовки і розробки технологічного процесу	

отримання деталі «конічне зубчасте колесо».....	40
4.2 Особливості механічної обробки маршрутної технології	
отримання деталі.....	42
Висновки.....	41
РОЗДІЛ 5.....	45
РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТНА ЧАСТИНА.....	45
5.1 Вибір і обґрунтування процесу термічної і хіміко-термічної обробки.....	45
5.1.1 Цементация, як один із методів підвищення властивостей зубчастих коліс	46
5.1.2 Основні параметри газової цементации.....	48
5.2 Зміцнююча термічна обробка деталі «конічне зубчасте колесо».....	49
5.3 Вибір необхідного обладнання та розрахунок його кількості.....	52
Висновки.....	58
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
Додаток А Маршрутна технологія отримання деталі	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

КЦ1-400 – двухступеневий конічно-циліндричного редуктор

МИМ-7 – металографічний вертикальний мікроскоп

ТО – термічна обробка

$\sigma_{0,2}$ – межа текучості умовна, МПа

σ_B – межа міцності при розтягу, МПа

σ_T – межа пропорційності (межа текучості для залишкової деформації), МПа

δ_5 – відносне подовження при розриві, %

ψ – відносне звуження, %

КСУ – ударна в'язкість, кДж/м²

НВ – твердість за Бринелем

НРС – твердість за Роквелом, шкала С

год. – години

ВСТУП

Зубчасті передачі широко застосовують у сучасних машинах і механізмах. Розрізняють силові зубчасті передачі, призначені для передачі крутного моменту зі зміною частоти обертання валів, і кінематичні передачі, які застосовують для передачі обертального руху між валами при відносно невеликих крутних моментах [1].

Деталь для проектування це конічне зубчасте колесо двухступеневого конічно-циліндричного редуктора типу КЦ1-400.

Редуктор це механізм, який складається з зубчастих або черв'ячних передач, виконаний у вигляді окремого агрегату і слугує для передачі обертання від валу двигуна до валу робочої машини. Призначення редуктора – зниження кутової швидкості та відповідно підвищення обертаючого моменту веденого вала в порівнянні з ведучим. Редуктор складається з корпусу (литого чавунного чи зварного сталевого), в якому поміщають елементи передачі – вали, зубчасті колеса, підшипники і інше. Редуктори класифікують за наступними ознаками: типом передачі (зубчасті, черв'ячні або зубчато-черв'ячні); числом ступенів (одноступінчаті, двоступінчаті і інші); типу зубчастих коліс (циліндричні, конічні, конічно-циліндричні і інші); відносного розташуванню валів редуктора в просторі (горизонтальні або вертикальні); особливостям кінематичної схеми (розгорнута, співісна, з роздвоєною ступенем і інші) [2-4].

Конічно-циліндричні чи циліндрично-конічні редуктори застосовують для передачі руху між валами, осі в яких перетинаються зазвичай під кутом 90° . Передачі з кутами, відмінними від 90° , зустрічаються дуже рідко [1-2].

Зубчасте колесо є однією з найбільш поширених деталей в сучасному машинобудуванні. Зуби коліс повинні мати достатньо високу міцність, твердість, здатність чинити опір стиранню та іншими властивостями, які забезпечують надійну роботу зубчастої передачі при найменших її масі і габаритах [5-6].

Тому зубчасті колеса виготовляють переважно з вуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю порядку 0,1-0,6 % з термічної або хіміко-термічною обробкою,

що дозволяє отримати високу твердість поверхні зубів при збереженні в'язкої серцевини [1, 5-6].

Матеріали деталей, які працюють в умовах тертя, повинні мати високу зносостійкість. За статистикою більшість машин (85-90 %) виходять з ладу в результаті зношення поверхонь окремих деталей. Технологічний процес (маршрутна технологія), що встановлює послідовність виконання операцій обробки, будується в залежності від багатьох конструктивних і технологічних особливостей зубчастого колеса, визначає вибір виду хіміко-термічного зміцнення його робочих поверхонь [1-4].

Для зубчастих коліс цілком справедливе твердження про те, що рівень їх довговічності і надійності закладений в якість поверхневого шару зубів, яка повинна бути високою, щоб в умовах дії великих контактних напруг, сил тертя і контактних температур протистояти пошкодженню робочих поверхонь зубів і їх втомного руйнування (поломки) [5-6].

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра по вибору матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки конічного зубчастого колеса двухступеневого конічно-циліндричного редуктора типу КЦ1-400 для підвищення експлуатаційних характеристик деталі є **актуальною**.

Мета роботи полягає в розробці раціональної технології хіміко-термічної обробки конічного зубчастого колеса, в результаті якої будуть досягнуті необхідні властивості, що забезпечать надійну і довговічну роботу деталі в заданих умовах експлуатації.

Якість поверхневого шару зубів оцінюють комплексом характеристик: хімічним і фазовим складом, макро-, мікро-, субструктурою, розподілом твердості, величиною, знаком і розподілом залишкових напружень та інше. Сукупність цих характеристик визначає рівень несучої здатності зубчастої передачі, опір щодо контактної втоми, знакозмінному вигину, зношуванню і заїданню. Кожен із названих критеріїв працездатності залежить від впливу на поверхневий шар зубів комплексу металургійних і технологічних чинників [5-6].

В процесі експлуатації на зуб зубчастого колеса діють два основних види навантажень: контактні та згинальні. При дії на деталь згинальних і скручуючих навантажень напруги в перетині розподіляються дуже нерівномірно, при цьому максимальні напруги відчують поверхневі шари [6].

В роботі розглянуті наступні питання:

- актуальність теми;
- призначення, область застосування зубчастих коліс, а також вимоги, що пред'являються до зубчастих коліс, основні технологічні та експлуатаційні властивості, вплив на них зовнішніх параметрів;
- причини виходу з ладу деталей типу «зубчасте колесо»;
- був обраний матеріал і проведено проектування маршрутної технології отримання виробу;
- визначена необхідна для отримання певних властивостей термічна обробка;
- запропонований один з перспективних процесів зміцнення деталі типу «зубчасте колесо» і вибрано обладнання для його проведення.

Методи досліджень: стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі для виготовлення конічного зубчастого колеса та сучасні металографічні методи дослідження, що включають мікроскопічний і макроскопічний аналіз, теоретичні і практичні методи, огляд літературних джерел і патентний пошук.

До завдань досліджень відносяться наступні: аналіз літературних джерел та проведення патентного пошуку з метою вдосконалення маршрутної технології виготовлення і зміцнюючої термічної обробки зубчастого колеса двоступінчастого редуктора для підвищення експлуатаційних характеристик виробу.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ «КОНІЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО»

1.1 Застосування циліндрично-конічних та конічних передач в редукторах

На теперішній час використання нетрадиційних передач, до яких можна віднести циліндрично-конічні передачі (ЦКП), дуже актуально. Зубчаста передача, в якій одне з коліс за формою заготовлі є циліндричним, а інше – конічним, називається, за термінологією у роботах [2-4], циліндро-конічною зубчастою передачею.

Циліндрично-конічні передачі (ЦКП) можуть передавати обертання на осях, що перетинаються і схрещуються, і як окремі випадки – на паралельних осях і осях, що перетинаються під кутом 90° . ЦКП внутрішнього зачеплення характеризуються малими габаритами, високою здатністю навантаження, і тому використовуються в різних механізмах. Прикладом використання ЦКП на осях, що перетинаються, можуть служити редуктори з похилими сателітами. Такі редуктори мають ряд позитивних характеристик, що й зумовило їхнє застосування для різних апаратів нового покоління [3-4]. ЦКП мають ряд переваг перед традиційними циліндричними чи конічними передачами. По-перше, однією з основних переваг таких передач є можливість отримання таких компоновочних схем приводів, які не можуть бути реалізовані за допомогою традиційних передач [5-7]. По-друге, змінність модуля по ширині зуба дозволяє регулювати бічний зазор в зачепленні з осьовим переміщенням колеса торця без порушення правильності зачеплення. По-третє, в ЦКП є можливість виготовлення коліс передачі з більш високою точністю шляхом обкатки, ніж у конічній передачі шляхом зубостругання. ЦКП відкривають перспективи новим компоновочним рішенням і дозволяють надати нові властивості відомим схемами компоновання.

Конічна зубчаста передача призначена для передачі обертання між валами, що перетинаються, які в більшості машин і обладнання розташовані в просторі перпендикулярно один до одного (рис. 1.1 а, б) [8].



Рисунок 1.1 – Типи конічних зубчастих передач [8]

При цьому, в силу меншої здатності навантаження в порівнянні з циліндричними зубчастими передачами і більшої чутливості до похибок складання конічні передачі не рекомендується застосовувати в силовому приводі виконавчого механізму машини. Найбільш часто конічні передачі знаходять застосування в обладнаннях, в якому кінематична схема передбачає наявність допоміжних механізмів, що переміщуються в паралельному або перпендикулярному напрямку до осі виконавчого механізму, наприклад, у холодно-висадочних і гвоздильних автоматах, у фрезерних і зубообробних верстатах. Крім конічної передачі з прямими зубами (див. рис. 1 а) існують конічні передачі з круговим зубом (див. рис. 1 б), а також гіпоїдні та спіроїдні конічні передачі (див. рис. 1 в, г) [8].

Конічні зубчасті передачі з круговим зубом, а також гіпоїдні та спіроїдні передачі в порівнянні з конічними передачами з прямим зубом мають ряд переваг: вища несуча здатність, вища плавність зачеплення і як наслідок знижений рівень шуму, менша чутливість до похибок збирання. Тому, незважаючи на певну складність проектування та виготовлення, ці типи конічних зубчастих передач все більше знаходять застосування у різних галузях машинобудування. Зокрема, гіпоїдні передачі набули широкого поширення в автомобілебудуванні (застосовуються в редукторах задніх мостів легкових і вантажних автомобілів), у вертольотобудуванні для зміни напрямку обертання,

що передається, а спіроїдні передачі застосовуються в різному технологічному обладнанні. Конічні передачі у машинобудуванні застосовуються у вигляді: конічного або конічно–циліндричного редуктора; спеціального редуктора, вбудованого в привід; передачі, вбудованої в привід машини або обладнання; диференціальних механізмів [8].

Зубчасті конічні сталеві колеса при діаметрах до 500 мм виготовляють куванням або штампуванням, при діаметрах, більших за 500 мм, конічні колеса можна виготовляти зі сталевого або чавунного лиття [1-4].

1.2 Конічно-циліндричний редуктор і його характеристики

Конічно-циліндричний редуктор – це різновид редуктора за особливостями конструкції виконання робочих частин і елементів. Як і всі редуктори, в основному використовуються в цілях зміни швидкості обертання. Привід редуктора є найбільш поширеним видом приводу в сучасних системах загальнопромислового застосування. Такий тип редуктора має значні термінами експлуатації і високим ККД. Конічний редуктор призначений для передачі руху і крутного моменту з перетином осей ведучого і веденого валу під кутом 90° , служить зміни величини тиску, і навіть зміни швидкості пневматичної системи. Широке поширення також отримав редуктор конічний циліндричний для приводу конвеєрної лінії, і для приводів тягових шахтних електровозів. Наприклад, в привід останнього входять ще і букс і колісна пара. Від ресурсів і працездатності здатності такого редуктора залежить забезпечення функціональних параметрів і надійність машини [1, 8].

У роботі [1] проводиться вибір матеріалу, проектування маршрутної технології виготовлення і процесу зміцнення деталі «конічне зубчасте колесо» редуктора двоступінчастого конічно-циліндричного горизонтального типу КЦ1-400 (рис. 1.2).

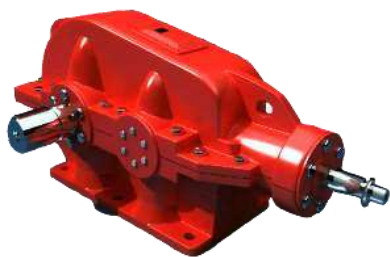


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд конічно-циліндричного двоступінчастого горизонтального типу КЦ1-400 [1]

Редуктори загального призначення типу КЦ1 призначені для зміни крутного моменту і частоти обертання валу в діапазоні передавальних чисел від 6,3 до 28.

Конічно-циліндричний редуктор має широку сферу застосування. Конічно-циліндричний редуктор в залежності від призначення і основних функціональних ознак працює в широкому діапазоні швидкостей і навантажень. Як приклади використання редуктора можна привести: металургійне машинобудування, підйомний транспорт, аграрний сектор та ін. Редуктори підбираються, головним чином, виходячи з міжосьової відстані. Вихідні показники, що впливають на загальні дані редуктора, це - гранична потужність швидкохідного вала, кількість оборотів в секунду швидкохідного вала, передавальне редукторне число, а також специфіка навантажень [1].

Умови застосування редукторів типу КЦ1 наступні [1]:

- редуктори типу КЦ1 при частоті обертання валу не вище 1500 об/хв., і швидкості зубчастих коліс до 12 м/с, допускають обертання валів в різні сторони.
- редуктори типу КЦ1 можуть працювати зі змінною або постійною навантаженням, реверсивна або одного напрямку.
- робота постійна з зупинками.
- експлуатація редукторів цього типу здійснюється в районах з помірним, вологим і сухим кліматом.

Корпус редуктора є базовою деталлю, він забезпечує необхідну точність відносного положення ведучого та веденого валів. На валах встановлені конічні зубчасті колеса, що передають крутний момент з одного валу на інший. Базування валів здійснюється за основними отворами, при цьому використовують опори з радіально-упорними підшипниками. Поверхні основних отворів корпусу разом із поверхнями торців утворюють комплекти допоміжних баз корпусу [1, 5-6, 8].

1.3 Аналіз умов роботи деталі «конічне зубчасте колесо»

Однією із головних складових будь якого редуктора є зубчасте колесо або шестірня. Зубчасте колесо служить для передачі крутного моменту з швидкохідного вала на проміжний за допомогою шпонки. Зубчасте колесо в парі з шестернею швидкохідного валу утворює перший ступінь перетворення крутного моменту. При роботі зубчастого колеса в редукторі початкове навантаження сприймає його поверхня і шпонковий паз.

Найбільшого поширення мають конічні передачі із прямими і криволінійними зубами; останні поступово витісняють передачі із тангенціальними зубами. Конічні зубчасті колеса з криволінійними зубами можуть мати кругову, евольвентну та циклоїдальну лінію зубів; найбільш поширені колеса із круговими зубами. 3D-моделі зубчастого конічного колеса, конічної шестерні та зубчастого зачеплення з круговим зубом, що представлені на рисунку 1.3 [8].

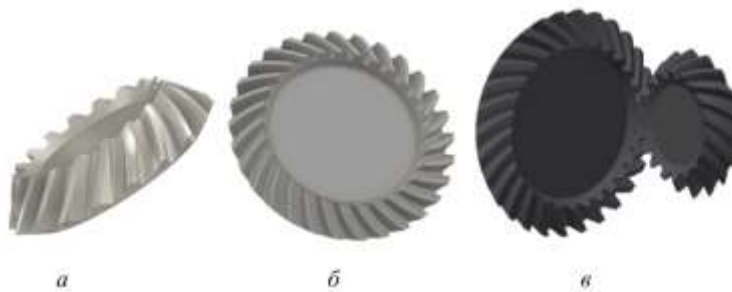


Рисунок 1.3 – 3D-моделі конічної шестерні (а), конічного зубчастого колеса (б) і конічного зубчастого зачеплення (в) [8]

Конічні передачі з криволінійними зубами порівняно з прямозубими мають більшу здатність до навантаження, працюють плавніше і, отже, динамічні навантаження та шум при їх роботі є меншим. Допуски для конічних та гіпоїдних передач регламентовані стандартом, згідно якому встановлено дванадцять ступенів точності та відповідні норми точності [8].

Конічне зубчасте колесо – це зубчасте колесо, призначене для з'єднання із зубчатим колесом, встановленим на осі, яке може бути розміщено під будь-яким

числом кутів. Конічне зубчасте колесо призначене для передачі обертального руху між валами з осями, що перетинаються. Класично, конічні зубчаті колеса використовуються під кутами 90 градусів одне до іншого, хоча можуть використовуватися й інші типи кутів. Це контрастує з іншими типами зубчатих колес, які зазвичай повинні використовуватися або паралельно одне до іншого, або під прямим кутом у деяких спеціалізованих випадках. Конічні зубчаті колеса використовуються в ряді застосувань, в тому числі в диференціалі автомобіля, редукторах і інших. Як витікає із терміна «скос», грань конічного зубчатого колеса нахилена. Як правило, конічне зубчасте колесо має конічну форму із зубами, що знаходиться вдоволь бокової поверхні конуса, і кут бокової сторони може змінюватися в залежності від застосування зубчастого колеса. Скошена конструкція дозволяє зубчастому колесу сцеплюватися з іншими конічними зубчатими колесами під декількома різними кутами, в залежності від того, як воно було оброблене [9].

До переваг конічних зубчастих передач, які є аналогічними циліндричним відносяться: велика довговічність та висока надійність; досить високий ККД (до 0,98 %); постійність передавального відношення; можливість використання в широкому діапазоні швидкостей, моментів, і передавальних відношень; малі габаритні розміри; простота в експлуатації [9].

До основних недоліків можна віднести: складність у виготовленні (потрібно дотримуватись допусків на кути) та монтажі через необхідність точного фіксування осевого положення: для виготовлення конічних зубчастих коліс необхідні спеціальні складні верстати; досить велика маса й габаритні розміри, ніж в циліндричних передачах; висока вартість та наявність осевих сил [9].

При проектуванні та виробництві конічних передач треба враховувати, що в зачепленні конічних коліс діють осеві сили, тому виходячи із цього здатність навантаження конічної передачі є меншою циліндричної приблизно на 15 %. Технологічний процес виготовлення конічних зубчастих шестерен, а також їх монтаж істотно складніший, ніж циліндричних. Але дані недоліки не впливають на широке застосування та поширення конічних шестерень, бо дуже багато

механізмів й обладнання включають в себе передавання обертального моменту під кутом [10].

Конічне зубчасте колесо (рис. 1.4) служить для перетворення крутного моменту і його передачі на вал при роботі в парі з шестернею.

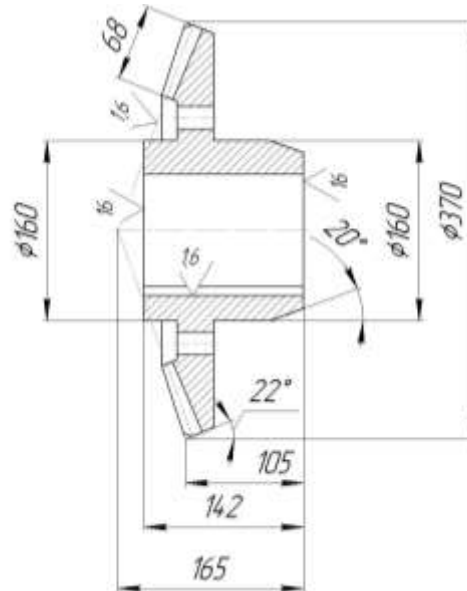


Рисунок 1.4 – Зубчасте колесо редуктора типу КЦ1-400

Зубчасте колесо служить 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 завантаженою частиною зубчастого колеса є зуб. На рисунку 1.5 показана схема зачеплення зубів. У точці контакту спостерігається перекошування і ковзання зубів. Довговічність і надійність роботи конічного зубчастого колеса: сумарна пляма контакту зубів - частина активної бічної поверхні зуба шестерні, на якій розташовуються сліди прилягання зубів парного колеса в зібраній передачі після обертання під навантаженням, яка встановлюється конструктором. Розташування цієї плями є основоположним фактором, що впливає на надійність і довговічність роботи конічних зубчастих коліс в зачепленні [6, 11].

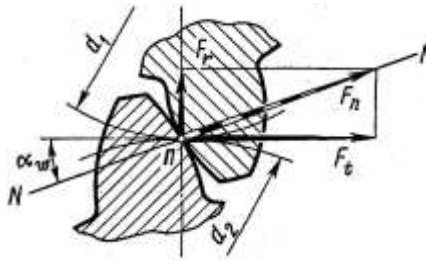


Рисунок 1.5 – Умови роботи зуба в зачепленні [6, 11]

Важливим елементом зубчастих коліс є профіль зубів. Від методу й якості виготовлення такого профілю залежать експлуатаційні характеристики і взагалі надійність та якість зачеплення [8].

Нарізання є основним способом виготовлення зубчастих коліс на сьогодні. Відомо дві найбільш використовувані методи створення сучасних зубчастих зачеплень: копіювання і обкочування. Як обладнання використовуються спеціальні зубонарізальні верстати. Метод копіювання полягає у формуванні бічних профілів зубців за допомогою спеціальних дискових або пальцевих фрез. Цей метод потребує значного запасу зубонарізного інструменту, тому його застосовують рідко. Він менш продуктивний і недостатньо точний, якщо порівнювати з іншими методами. Метод обкочування полягає в тому, що однією твірною поверхнею нарізаються дві сопряжені поверхні зубців зубчастих коліс, яка відрізняється від необхідних спряжених поверхонь. Рух різання, рух обкочування та рух подачі – це три основні рухи інструмента і заготовки, що виникають в процесі нарізання коліс методом обкочування [9, 12-14].

До показників якості зубчастих коліс, які визначаються при приймально-здавальних і періодичних випробуваннях відносять [6, 10]:

– показники, що характеризують кінематичну точність зубчастого колеса: кінематична похибка колеса; кінематична похибка передачі; накопичена похибка; накопичена похибка кроку; похибка обкатування; коливання довжини загальної нормалі; коливання виміральної міжосьової відстані за оборот колеса; радіальне биття зубчастого вінця;

- показники, що характеризують плавність роботи: відхилення кроку зачеплення; відхилення кроку зубчастого колеса; похибка профілю; місцева кінематична погрішність колеса; циклічна похибка колеса;

- показники, що характеризують повноту контактів зубів: сумарна пляма контакту; миттєве пляма контакту; похибка напрямки зуба; сумарна погрішність контактної лінії; відхилення осьових кроків по нормалі;

- показники фізико-механічних властивостей матеріалів: твердість поверхні; глибина цементації.

При роботі зубчасте колесо відчуває динамічні, статичні, знакозмінні і вібраційні навантаження величиною до 930 Н і воно працює в середовищі з робочою температурою до + 80 °С.

З огляду на складний характер навантаження, для забезпечення необхідної працездатності, матеріал зубчастого колеса повинен мати наступні властивості: межу міцності σ_b - не менше за 1220 МПа; умовну межу плинності $\sigma_{0,2}$ - не менше за 900 МПа; ударну в'язкість КСУ - не менше за 0,9 Дж/м²; твердість зміцненої поверхні – не менше за 58 HRC; твердість серцевини – не менше за 280 HB (2800 МПа).

При експлуатації зубчасті колеса відчувають [12-14]:

- вигин при різкому гальмуванні або заклинюванні з наявністю максимального крутного моменту;

- вигин у ніжці зуба, який може призвести до його втомного руйнування, бо напруги можуть перевищувати за 600 МПа;

- контактні напруження на бічних поверхнях зубів, які призводить до утворення контактної втомного викришування; такі напруги можуть досягати величини до 2 – 300 МПа;

- знос бічних поверхонь (через потрапляння абразивних пилу і бруду в зону контакту) або торцевих поверхонь зубів; при недостатньому змащуванні робочих поверхонь може відбуватися «схоплювання», утворення задирів, що призводять до швидкого зносу поверхні зубів.

1.4 Вимоги до матеріалу конічного зубчастого колеса і стану поверхні

Конічне колесо по конструктивних ознаках може відноситися до передачі як відкритого, так і закритого типу. Безпосередньо конічна шестерня призначена для передачі механічної енергії з веденого вала на ведучий, який розташований під кутом. Особливість роботи зубчастого зачеплення полягає в тому, що колеса закономірно і безперервно стикаються один з одним. При цьому зона контакту переміщається по евольвентній поверхні зуба з просковженням спряжених поверхонь відносно один одного, обумовлюючи знос поверхонь. При передачі обертового моменту на зуби колеса діють напруги вигину і високі контактні напруги. У зв'язку з тим, що зубці коліс входять в зачеплення періодично, то згинні контактні напруги будуть діяти циклічно, відповідно до числа оборотів вала і співвідношення передачі. Комплексний напружений стан - наявність контактної напруги, через згин, сил тертя при наявності абразивного середовища призводить до руйнування матеріалу поверхні зубів [11].

Матеріали зубчастих коліс вибирають залежно від призначення і умов роботи передачі. Основні вимоги до матеріалів [11]:

- міцність поверхневого шару;
- високий опір стирання;
- достатня міцність при згині;
- оброблюваність,
- можливість отримання достатньої точності і чистоти поверхні.

Основним матеріалом зубчастих коліс є сталь, використовують також чавун і пластмасу. Для зменшення небезпеки пошкодження поверхні зубів застосовують термообробку. Твердість поверхні повинна бути такою, щоб отримати колеса необхідної точності [11].

При виборі марки сталей для зубчастих коліс, крім твердості, необхідно враховувати розміри заготовки. Це пояснюється тим, що прогартованість сталей різна: вуглецевих - найменша; високолегованих - найбільша. Сталі з поганою прогартованістю (вуглецеві конструкційні) при великих перетинах не можна

термічно обробити на високу твердість. Тому марку сталі для зміцнюючих зубчастих коліс вибирають з урахуванням їх розмірів. Таким чином, остаточний вибір марки сталей для зубчастих коліс (придатність заготовки коліс) необхідно проводити після визначення геометричних розмірів зубчастої передачі [11].

При виборі матеріалів зубчастих коліс необхідно забезпечувати [11]:

- високу міцність зубів на вигин;
- високу стійкість поверхневих шарів матеріалу зубів проти втомного викришування, зносу, заїдання і т.д.

Отже, основними матеріалами для зубчастих коліс є термічно або хіміко-термічнооброблювані сталі. Термічну і хіміко-термічну обробки виконують для забезпечення високої поверхневої твердості зубів, від якої залежать їх контактна міцність, зносостійкість і протизадирні властивості, при збереженні в'язкої серцевини. Це дозволяє при рівних матеріалах зменшити небезпеку заїдання і вирівняти ресурс (в годинах) зубів шестерні. Залежно від твердості, обумовленої зміцнюючою обробкою, сталеві зубчасті колеса можна умовно розділити на дві основні групи [6, 10]:

- I група - колеса твердістю $H \leq 350$ HB;
- II група - колеса твердістю - $H > 350$ HB.

Важливо знати, що зубчасті колеса таких груп різні за марками сталі, технологіями виготовлення та зміцнення, за здатністю до припрацювання, і найголовніше – за здатністю до навантаження.

Зубчасті колеса I групи застосовують в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва при відсутності жорстких вимог до габаритів передачі. Навантаження на передачу малі або середні. Якщо при цьому передачі косозубі (шевронні), то шестерні повинні мати високу твердість. Їх відносимо до зубчастих коліс II групи [6, 10].

До деталі пред'являються високі вимоги по точності і якості обробленої поверхні. При обробці зубчастого вінця потрібно забезпечити шорсткість поверхні евольвенти не нижче $Ra 1,25$. Точність обробки зовнішньої поверхні повинна відповідати 6-му квалітету і шорсткості $Ra 1,25$, а внутрішня поверхня 7-

му квалітету і шорсткості Ra 0,4. У конструкції деталі пред'являються вимоги до форми і взаємного розташування поверхонь [6].

Від якості виконання зубчастого колеса в чому залежать експлуатаційні характеристики вузла, такі як надійність, довговічність, а також вібраційні та шумові характеристики. Основними причинами виходу з ладу зубчастих коліс є високі контактні напруги в зоні зубчастого зачеплення, зниження втомної міцності. Тому зубчастий вінець колеса піддають хіміко-термічній обробці [6].

До основних вимог фізико-механічних властивостей виробу відносяться твердість робочих поверхонь, тому поверхню зубів піддають цементації з подальшою термообробкою на глибину $h = 0,8 - 1,2$ мм і на твердість 56 - 62 HRC, при цьому твердість осердя зуба має складати $H \geq 28$ HRC [7].

Таким чином, основними технічними вимогами для виготовлення конічного колеса повинні бути [6]:

- шорсткість поверхні зубів Ra 1,6 мкм;
- межа плинності матеріалу серцевини $\sigma_{0,2} \geq 600$ МПа;
- в поковці забезпечити сприятливе розташування волокон по відношенню напруженням вигину в зубах;
- структура основи сталі повинна мати розмір зерна не менше 7-8 балів;
- після остаточної механічної обробки поверхні зубів контролювати методом магнітної дефектоскопії, шліфувальних тріщин не допускається.

1.5 Можливі причини виходу із ладу конічних зубчастих коліс

До основних факторів втрати працездатності зубів коліс відносяться [15]: поломка зубів внаслідок перевантажень, що виникають при перекосі осей або неточності виготовлення; лущення і втомне викришування робочої поверхні зубів, причинами появи яких є втома робочих поверхонь зубів через багаторазове механічне перенапруження металу в зоні початкових кіл, а так само, наприклад, зниженої в'язкості масла; заїдання (задир) робочих поверхонь зубів, поступовий знос, який відбувається при попаданні металевих і абразивних частинок, а так

само при малій в'язкості масла і недостатньої твердості зубів; зношування зубів по товщині і довжині, а також зношування посадочних місць, шліцьових отворів і шпонкових канавок; тріщини на ступицях, що виникають в більшості випадків в результаті перевантаження шестерень при порушенні вимог експлуатації машини; завал зубів на бік в результаті пластичних деформацій.

Великий вплив на знос поверхонь деталей надає середовище, в якому вони працюють. Зубчасте колесо, представлене в цій роботі працює в неагресивних середовищах.

Поломки зубчастого колеса в більшості випадків носять втомний характер і відбуваються в зоні концентраторів напружень [6]. Контактні руйнування можуть бути поверхневими або глибинними. Обидва види руйнувань є втомним явищем, при якому тріщини утворюються під дією знакозмінних напружень на поверхні матеріалу або в глибині. Поява того чи іншого виду руйнування залежить від співвідношення між діючими напруженнями і опором матеріалу втомного перетину зуба. Глибинне руйнування характерно для матеріалів з хіміко-термічним зміцненням поверхні, хоча в деяких випадках воно може розвинутиися і в термо-поліпшених сталях [6].

Однією з типових причин втрати працездатності зубчастих передач редукторів є пошкодження зубів в результаті заїдання. Пошкодження зубів при заїданні відбуваються по послідовно розвиваючимся стадіям: від легкого натирання - виникнення нерозпізнаних незброєним поглядом неглибоких коротких рисок, орієнтованих в напрямку відносного ковзання профілів - до дуже сильної форми задиру з характерними широкими і глибокими борознами, що зливаються між собою, наявністю вирваного металу, наростів і оплавлення поверхневих шарів металу [16]. Для розрахунків на заїдання запропоновано досить багато критеріїв. Найбільш відомими серед них є: критерії Олмена, Олмена-Штрауба, Петрусевича А.І., Дроздова Ю.М. [17-19].

Знос робочих поверхонь зубів тим більше, чим більше їх питоме ковзання і контактні напруги в зачепленні. Викришування робочих поверхонь зубів, притаманне зубчастим передачам, що працюють у масляній ванні (при значних

навантаженнях на робочих поверхнях зубів з'являються мікротріщини, які під впливом явища «масляного клину» збільшуються, що врешті-решт призводить до викришування робочих поверхонь). Зношення робочих поверхонь зубів є характерним для відкритих зубчастих передач (можливість попадання в зону зачеплення зубів абразиву - пилу, піску тощо) [6].

Знос проковує зародження і розвиток тріщин під дією напружень розтягування. Після того, як утворюється магістральна тріщина, її зростання визначається значенням коефіцієнта інтенсивності напруження [20-21].

Заїдання зубів характерне для важконавантажених передач, коли при великих поверхневих напруженнях матеріали зубів коліс «приварюються» один до одного. Тому особливе місце в проблемі зносостійкості зубчастих передач належить заїданню – тобто процесу виникнення і розвитку пошкоджень поверхні тертя внаслідок схоплювання і перенесення матеріалу. Залежно від умов тертя заїдання поверхонь не носить катастрофічного характеру і може навіть припинитися («холодне заїдання»), але в екстремальних умовах тертя (при високому рівні температур, навантажень, швидкостей ковзання, наявності агресивних середовищ) процес заїдання контактуючих поверхонь супроводжується утворенням глибоких борозен, виривів, рисок, наростів, оплавлень («гаряче заїдання»). В останньому випадку процес заїдання часто характеризується катастрофічним зношуванням сполучених пар і може привести до повного виходу механізму з ладу в результаті припинення відносного руху в контакті. «Гаряче заїдання» (далі – заїдання) є найнебезпечнішим видом ушкоджень зубів зубчастих коліс [22-24].

Сили від прямозубого конічного колеса, що діють на вал, прикладені одна (радіальна) перпендикулярно осі, а інша (осьова) паралельно осі, яка навантажує вал згинаючим моментом. На конічні колеса прямозубої конічної передачі діють сили: окружна, складові сили, осьова, радіальна [6, 16].

Висновки

Конічно-циліндричний редуктор – це різновид редуктора за особливостями конструкції виконання робочих частин і елементів Редуктори двоступінчасті типу КЦ1-400 загального призначення призначені для зміни крутного моменту і частоти обертання валу в діапазоні передавальних чисел від 6,3 до 28.

Конічне зубчасте колесо служить для перетворення крутного моменту і його передачі на вал при роботі в парі з шестернею. Конічне колесо безпосередньо призначене для передачі механічної енергії з веденого вала на ведучий, який розташований під кутом.

При виборі матеріалів зубчатих коліс необхідно забезпечувати: – високу міцність зубів на вигин; високу стійкість поверхневих шарів матеріалу зубів проти втомного викришування, зносу, заїдання і т.д.

До основних вимог фізико-механічних властивостей деталі відноситься твердість робочих поверхонь, в зв'язку з чим поверхню зубів повинна мати твердість 56 - 60 HRC, при цьому твердість серцевини зуба повинна складати $H \geq 28$ HRC.

Критеріями працездатного стану зубчастих передач є: поверхнева міцність зубів (опір контактної втоми), об'ємна изгибная міцність зубів (опір втоми і статична міцність), стійкість проти заїдання, зносостійкість міцності зубів і до їх поломки. До видів пошкоджень зубів відносяться наступні.

Поломка зубів, в основному, зумовлюється втомленістю матеріалу, рідше – різким підвищенням навантаження. Зношення робочих поверхонь зубів є характерним для відкритих зубчастих передач (можливість попадання в зону зачеплення зубів абразиву - пилу, піску тощо). Заїдання зубів характерне для важконавантажених передач при великих поверхневих напруженнях матеріали зубів коліс «приварюються» одне до одного). Цей вид пошкоджень зубів є характерним для важконавантажених зубчастих передач.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

2.1 Методи отримання і покращення механічної обробки зубчастих коліс

Абразивний знос (рис. 2.1) є основним видом руйнування зубчастих передач при поганій мастилі [25-26]. Сюди відносять відкриті передачі, а також закриті, але недостатньо захищені від забруднення абразивними частинками. У зношеній передачі збільшуються зазори в зачепленні, з'являється шум. Зростають динамічні навантаження. Міцність зуба знижується внаслідок зменшення його поперечного перерізу. Це призводить до поломки зубів. Основні заходи попередження зносу, це: підвищення твердості і чистоти поверхні зубів; захист від абразивних частинок; застосування масел з хімічно активними домішками.

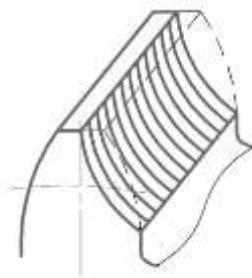


Рисунок 2.1 - – Абразивний знос зуба [25]

Застосування певних методів моделювання дозволяє виявити умови контактної взаємодії поверхонь відновлених після зносу зубчастих коліс, визначити перелік елементів відновлення та їх діапазон для поверхонь зубчастих коліс, використовуючи комплексні параметри стану і вибрати метод зубообробки [27].

В процесі експлуатації зубчастих передач, внаслідок нерівномірного зношення робочих поверхонь зубів, їх профілі перестають бути евольвентними і загальна нормаль до профілів в чіткій відповідності з основним законом зачеплення перетинає лінію центрів в різних точках (миттєвих центрах швидкостей), що викликає скривлення лінії зачеплення [28].

Авторами робіт [29-31] проведено експеримент на машині тертя «МІ-1М» над зразком з наплавленої сталі 40Х і 38ХМЮА за допомогою масштабного фактора. В якості контртіла застосовувалася сталь 34ХНМ. Швидкість відносного

руху зразків 0,2 м/с. Результати експерименту показують, що спостерігається менший лінійний знос і найбільш стабільне значення коефіцієнта тертя.

Аналіз причин виходу з ладу зношених і відновлюваних великогабаритних зубчастих коліс показав, що в 90 % руйнування крупногабаритних зубчастих коліс починається з поверхневого шару через появу мікротріщин, абразивне зношення, викришування активних поверхонь зубів, відшаровування поверхневого шару зубів, прогресуючого заїдання та пластичних деформацій зубів [32-33].

У роботі [34] приведено результати досліджень технологічних способів підвищення довговічності зубчастих коліс і представлено пристрій для енергетичної активації поверхневого шару зубчастих зачеплень і підвищення їх зносостійкості; показані результати експериментальних досліджень методів поверхнево-пластичного деформування; було встановлено позитивний ефект поверхнево-деформаційного зміцнення сталей, підданих хіміко-термічній обробці, що пояснюється власним зміцненням металу і створенням стискаючих напруг в наклепаних поверхневих шарах деталей, де межа витривалості зубів, в результаті наклепу дробом, підвищується до 10-18 %, а експлуатаційна довговічність збільшується в 2,5-3 рази.

Авторами патенту на корисну модель [35] розглянута конічна зубчаста передача, яка містить конічну шестерню, що встановлена на ведучому валу, останній встановлений в опорах, та конічне зубчасте колесо, яке встановлене на веденому валу. Конічна шестерня розташована між опорами. Корисна модель належить до загального машинобудування, а саме до конічної зубчастої передачі. Суть корисної моделі пояснює креслення (рис. 2.2).

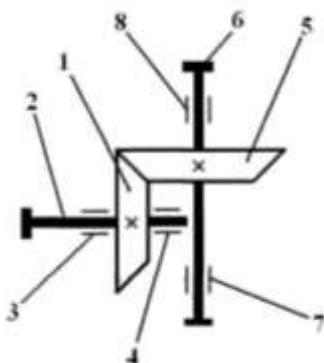


Рисунок 2.2 – Конічна зубчаста передача [35]

Використання запропонованої конструкції конічної зубчастої передачі в приводі машин дозволяє: розширити асортимент конічних зубчастих передач; підвищити продуктивність машини, в приводі якої використовується конічна зубчаста передача, за рахунок скорочення простоїв, зумовлених необхідністю ремонту або заміни конічної зубчастої передачі [35].

Аналіз параметрів поверхневого шару деталей, теоретичні та експериментальні дослідження контактної жорсткості, коефіцієнта тертя і зносостійкості, герметичності з'єднань і міцності посадок, меж витривалості та корозійної стійкості, показують, що всі розглянуті експлуатаційні властивості зубчатих коліс характеризуються системою геометричних параметрів: макровідхилення; хвилястість; шорсткість; їх взаємне положення при контактуванні; фізико-механічні властивості поверхневих шарів; фізико-механічні властивості матеріалів деталей та умови функціонування (величина і напрямок діючої сили, швидкість взаємного переміщення і наявність мастила) [36-37].

Як при призначенні параметрів стану контактуючих поверхонь циліндричних зубчастих коліс, так і при розробці процесів їх обробки необхідно знати можливості методів щодо забезпечення цих параметрів. Узагальнені дані для евольвентних поверхонь циліндричних зубчастих коліс з конструкційних і легованих сталей при механічних методах їх обробки наведені в [36-38].

2.2 Застосуванні термічної та хіміко-термічної обробки для зміцнення поверхні зубчатих коліс

Наявні в літературних джерелах дані свідчать про значне підвищення меж витривалості, довговічності і ударно-втомної міцності під час розробки, відновлення і зміцнення зубчастих коліс.

Для розгляду параметрів відновлення [39-42] зношених крупногабаритних зубчастих коліс при формоутворенні евольвентної поверхні за допомогою ортогональної системи координат, віссю абсцис якої є вісь симетрії зуба, а вісь ординат проходить через початкову точку евольвенти вихідного, незношеного профілю – застосовують теорію системно-структурного аналізу, яка дозволяє не

тільки побудувати їх схеми, з виявленням експлуатаційних властивостей зубчастих коліс, а й забезпечити експлуатаційні властивості відповідно до призначення умов експлуатації зубчастої пари (рис. 2.3).

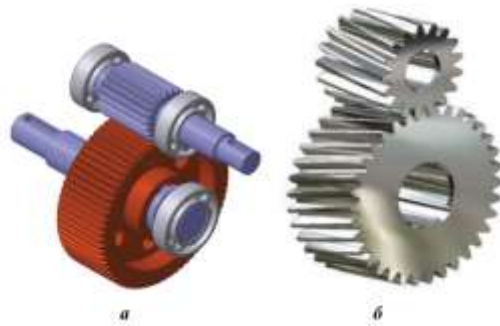


Рисунок 2.3 – Зубчасті пари, що сполучаються: прямозуба пара (а) і косозуба пара (б) [41]

Формування шорсткості поверхні зубів зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс [41] після врізання в нього зуба фрези показано на рисунку 2.4.

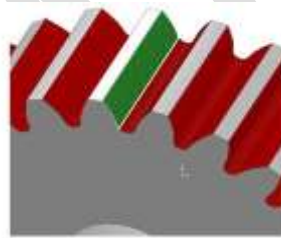


Рисунок 2.4 – Формування поперечної і поздовжньої шорсткості при зубофрезеруванні зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс [41]

Неодноразово робилися спроби розробки процесів відновлення зубчастих коліс приводу рудорозмельних млинів. Причиною цього є відносно малий термін служби коліс, які працюють в агресивно абразивному середовищі, висока вартість і трудомісткість їх виготовлення. Теоретично, при такому великому числі зубів (200–220), зношені колеса можна «перенарізати» з негативним зміщенням інструменту не отримавши підрізу зуба [43-47].

Однак результати експериментів по оцінці зносостійкості загартованих зубчастих коліс одного класу (модуль 1,5–4 мм), які наведені в роботах [48-49], показали великий розкид значень інтенсивності зношування: від $5,1 \cdot 10^{-10}$ до $3000 \cdot 10^{-10}$. Причому інтенсивність зносу зубів ведених зубчастих коліс на порядок більше інтенсивності зносу зубів ведучих коліс. Таким чином можна говорити про передчасність широкого застосування розглянутої методики розрахунку зубів на знос.

У відповідності зі сформованим поданням про процес прироблення контактуючих поверхонь деталей, одним з його результатів є утворення рівноважної шорсткості, яка не залежить від вихідної і визначається тільки умовами тертя [50]. При досягненні рівноважної шорсткості контактні переміщення стабілізуються, коефіцієнт тертя і інтенсивність зносу стають мінімальними, що можливо при реалізації пружного контакту взаємодіючих тіл. Однак, як було показано вище, несуча здатність поверхні деталей, їх коефіцієнт тертя і інтенсивність зносу при терті ковзання поряд з шорсткістю, визначаються макровідхиленням, хвилястістю і фізикомеханічними властивостями (мікротвердість і залишкові напруги). Тому очевидно, шорсткість поверхні тертя, що утворюється в процесі прироблення буде залежати від інших параметрів стану поверхневого шару контактуючих деталей [50].

При такому забезпеченні, критеріями за визначенням методу обробки на фінішному етапі, а також режимів різання є необхідні умови максимуму областей ефективного значення експлуатаційних властивостей при розглянутому методі обробки (ОЕМО), мінімуму проєкції функції витрат на їх вісь, а також максимуму щільності розподілу ймовірності при обмеженому наборі регламентованих параметрів якості поверхні [51].

Інтенсивність зношування залежить від великої кількості факторів: фізичних, хімічних і механічних властивостей самого матеріалу, характеристик мастила, агресивності середовища, умов навантаження, температури, топографії контактуючих поверхонь і інших [52-54]. Тому теоретичний розрахунок цієї величини вельми скрутний і виходить задовільним тільки в деяких випадках, в

зв'язку рекомендовано використовувати експериментально визначену інтенсивність зносу в режимах тертя, максимально близьких до умов роботи реальної передачі [41-42].

При зубообробці коливання фрези [54-55] щодо оброблюваної поверхні заготовки представляють собою складення радіальних, осьових і дотичних переміщень.

Положення про пропорційність величини зносу роботі сил тертя для розрахунку зносу машин застосовувалося і іншими дослідниками [56-57].

В роботі [58] розглянуто вплив хіміко-термічної та іонно-плазмової обробки на міцність від втоми маловуглецевих конструкційних сталей. Для дослідження були обрані конструкційні цементуємі сталі 18ХГТ і 20Х. Сталь 18ХГТ також використовується як азотована. Для порівняння сталь 20Х також піддавалася азотуванню, хоча твердість азотованого шару для цієї сталі набагато нижче, ніж для 18ХГТ. Встановлено, що азотування і цементация істотно підвищують межу витривалості сталей, проте ці види обробки різко окрихчують метал, що проявляється в значному розкиді значень σ_{-1} . Іонно-плазмова обробка не-значно впливає на σ_{-1} (приріст не перевищує 6 %), однак стабільність значень σ_{-1} різко зростає [58].

У патенті [59] наведено результати про проведення цементации при різних складах карбюратора.

В роботі [60] зроблено висновки, що підвищення ступеня деформації при гідропресуванні перед ХТО сприяє збільшенню глибини цементованного шару сталі 18ХГТ, подрібненню її структури, утворенню в заевтектоїдній зоні як сітки вторинного цементиту, так і структурно-вільного цементиту глобулярної форми, зміцнення як дифузійного шару, так і серцевини виробу, підвищення зносостійкості цементованих виробів.

Авторами [61] на підставі проведених досліджень структури, глибини цементованного шару, концентрації вуглецю в цементованном шарі в залежності від температури цементации автори зробили висновок, що найкращі результати для сталі 12ХН3А забезпечуються при температурі цементации 900 °С і подачі гасу 60

крапель/хв. Глибина цементованного шару залежить, головним чином, від тривалості витримки.

В роботі [62] описано, що цементуемі конструкційні сталі широко застосовуються для виготовлення різного роду деталей машин, якщо до їх поверхневого шару пред'являються високі вимоги по зносостійкості. Великий клас деталей, зміцнюючихся цементациєю, в процесі своєї експлуатації відчуває вплив на робочу поверхню пульсуючих контактних напружень - це зубчасті колеса і шестерні, кулачкові вали, натискні ролики та ін. Коротшу за тривалістю цементацию, що забезпечує зниження енергетичних витрат на модифікацію поверхні сталі 18ХГТ раціонально застосовувати для зміцнення деталей машин, що працюють в умовах тертя ковзання при проходженні-ня без значного впливу максимальних за амплітудою пульсуючих контактних напружень [62].

Збільшення межі текучості матеріалу заготовки призводить до зменшення мінімально досягаємої шорсткості оброблюваної поверхні. Для отримання мінімальної шорсткості при чистовому зубофрезерованні необхідно зменшувати радіус округлення різальної крайки [63].

Висновки

В процесі виконання кваліфакаційної роботи бакалавра було проведено аналіз літератури, статей і патентів, що дає можливість розробити процес підвищення експлуатаційних властивостей конічного зубчастого колеса.

Цементуемі конструкційні сталі широко застосовуються для виготовлення різного роду деталей машин, якщо до їх поверхневого шару пред'являються високі вимоги по зносостійкості. Великий клас деталей, зміцнюючихся цементациєю, в процесі своєї експлуатації відчуває вплив на робочу поверхню пульсуючих контактних напружень – це зубчасті колеса і шестерні, кулачкові вали, натискні ролики та інші. Виходчи із проведеного аналізу літературних даних можна зробити висновок, що цементация сталі 18ХГТ дозволяє значно збільшити експлуатаційні і технологічні характеристики зубчастих коліс.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Матеріали зубчастих коліс

Передачі зі сталевими зубчастими колесами мають мінімальну масу і габарити. Маса і габарити тим менші, чим вища твердість робочих поверхонь зубів, що залежить від марки сталі та термічної обробки. При конструюванні в основному використовують чорні метали: чавуни і сталі. Це пояснюється їх високою міцністю, жорсткістю, відносно невеликою вартістю. Основні недоліки чорних металів - велика густина і низька корозійна стійкість. Найвищу працездатність зубчастих коліс забезпечують сталі [16]. Рідше застосовуються чавуни і пластмаси. Залежно від умов експлуатації і необхідної твердості поверхні застосовувані сталі підрозділяються на дві групи: 1) сталі, що застосовуються без зміцнення поверхневого шару; з однаковою твердістю по перетину зуба при HRC 28-45; 2) із зміцненим поверхневим шаром до HRC 55-63 і в'язкою серцевиною з HRC 28-40 [16].

Першу групу утворюють середньовуглецеві, поліпшовані, нормалізовані й об'ємно гартовані сталі. Вони значно поступаються сталям другої групи за здатністю навантаження, але перевершують їх за технологічністю, допускають чистове точіння і нарізання зубів після термообробки, що істотно полегшує виготовлення коліс. Крім того, вони не схильні до крихкого руйнування при динамічних навантаженнях [16].

Поліпшовані сталі застосовують для мало- і середньонавантажених передач і для коліс в допоміжних механізмах, наприклад, в механізмах ручного управління сталі піддають гартуванню і високому відпуску або просто нормалізації. Структура після термополіпшення – сорбіт, HRC 28-32. Після нормалізації – перліт + ферит. Після об'ємного гартування і низького відпуску колеса мають структуру мартенсит з твердістю HRC 40-45 [16].

Другу групу утворюють низьковуглецеві сталі, що піддаються цементації або нітроцементації, потім гартуванню і низькому відпуску; середньовуглецеві сталі, зміцнювані азотуванням або поверхневим гартуванням. Маючи велику

перевагу, цементовані і нітроцементовані шестерні мають і значні недоліки: термічна обробка викликає значну деформацію зубів, що вимагає згодом шліфування, притирання або обкатки і відповідно спеціальне обладнання [16].

Для виготовлення зубчастих передач матеріали вибираються з урахуванням необхідності забезпечення міцності, довговічності та технологічності конструкцій зубчастих коліс. Найчастіше для виготовлення зубчастих передач, що передають середню потужність без значних динамічних навантажень, використовуються сталі марок 35, 40, 45, 50, 50Г, 40Х, 40ХН, 18ХГТ, 30ХГТ і інші [16].

Для виготовлення особливо відповідальних зубчастих передач, що працюють при ударних навантаженнях, використовують леговані сталі марок 45ХН, 40ХНМА, 12ХНЗА та інші [16].

Для тихохідних зубчастих передач, що працюють при спокійному навантаженні, використовують чавуни марок СЧ 15, СЧ 21, СЧ 28 та інші. Із пластмас для виготовлення зубчастих передач найчастіше використовують текстоліт, нейлон, капрон та деревнослоїсті пластики. З метою зниження шуму, шестерня швидкохідної зубчастої передачі виготовляється з металу (сталь, чавун), а колесо з текстоліту. В приладобудуванні зубчасті передачі виготовляють із кольорових металів та їх сплавів (мідь, латунь, бронза, дюралюміній тощо) [16].

У сучасних зубчастих коліс зберігають в'язку серцевину, а зміцнюють лише робочу поверхню зуба термічними (поверхневе гартування СВЧ), хіміко-термічними методами (цементация і азотування), методом фізичного впливу високих енергій (лазерне гартування, іонне азотування) і ін. При цементуванні сталей 12ХНЗА, 18Х2НМА, 15ХФ, 18ХГТ, 25ХГТ твердість поверхні 56-62 HRC; при азотуванні сталей 38Х2Ю, 38Х2МЮА - 50-55 HRC; при іонному азотуванні - 80-90 HRC; при лазерному зміцненні - 56-60 HRC; при поверхневому зміцненні робочої поверхні зуба маса редуктора знижується в 1,5-2 рази і відповідно зменшуються його габаритні розміри [34].

При вхідному контролі якості матеріалу сталі, визначають такі показники, як хімічний склад; механічні властивості; мікро- і макроструктуру; основні та технологічні властивості; геометричні розміри; якість поверхні металопродукції.

3.2 Вибір матеріалу деталі «конічне зубчасте колесо»

Деталь «конічне колесо зубчасте» виготовляємо зі сталі 18ХГТ. Сталь марки 18ХГТ: конструкційна, низьковуглецева, містить 0,18 % вуглецю, до 1 % хрому, марганцю. Сталь економно легована, спадково дрібнозерниста [64]. Ця марка сталі відноситься до групи легованих конструкційних сталей, це деталі, з яких поряд з підвищеною міцністю і зносостійкість потрібна наявність пружних властивостей (наприклад, це такі деталі як: цанги, розрізні кільця, пружинні шайби, фрикційні диски, колінчаті вали, півосі, цапфи, черв'яки, шестерні), тобто деталі, що піддаються гартуванню та відпуску; ця сталь успішно замінює дорогі хромонікелеві сталі [65].

Для отримання високих показників міцності виробу «конічне колесо зубчасте» необхідно забезпечити регулювання у вузьких межах ряду параметрів, що характеризують будову і властивості поверхневого шару й серцевини. Разом з тим, при високих значеннях межі міцності, межі витривалості при вигині, межі контактної витривалості в сталі необхідно забезпечити і задовільну в'язкість. Тому сталі повинні бути спадково дрібнозернистими (бал 6-8). Крім того, застосування дрібнозернистих сталей повинно дозволяти використовувати найбільш раціональний режим термічної обробки [66].

Виходячи з вище перелічених вимог по твердості, міцності і в'язкості до нашої сталі, я обираю сталь марки 18ХГТ. Характеристики обраної сталі-замінника наведено в табл. 3.1- 3.4 [64].

Таблиця 3.1

Характеристика матеріалу 18ХГТ [64]

Марка:	18ХГТ
Замінники:	30ХГТ, 25ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН2М, 14ХГСН2МА,
Класифікація:	Сталь конструкційна легована
Застосування	Деталі відповідального призначення, від яких потрібна підвищена міцність і в'язкість серцевини, а також висока поверхнева твердість, що працюють під дією ударних навантажень

Таблиця 3.2

Хімічний склад в % матеріала 18ХГТ [64]

C	Si	Mn	Cr	Ti	P	S	Cu	Ni
					не більше			
0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,1	1,0-1,3	0,03-0,09	0,35	0,035	0,30	0,30

Таблиця 3.3

Температури критичних точок сталі 18ХГТ, °С [64]

Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
740	825	650	730

Таблиця 3.4

Механічні властивості сталі 18ХГТ [64]

Стан поставки, режим термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, кДж/м ²	НВ (HRC), не більше
Нормалізація 880-950 °С. Гартування 870 °С, масло. Відпуск 200 °С, повітря або вода	Зразки	880	980	9	50	78	
Нормалізація 930-960 °С. Цементация 920- 950 °С. Гартування 825- 840 °С, масло. Відпуск 180-200 °С, повітря	50	360 - 800	640 - 1000	9			157-207 Серцевина 285 Поверхня (57-63)
Цементация 920- 950 °С, повітря. Гартування 820- 860 °С, масло. Відпуск 180-200 °С, повітря	20	930	1180	10	50	78	Серцевина 341 Поверхня (53-63)
	60	780	980	9	50	78	Серцевина 240-300 Поверхня (57-63)

Сталь 18ХГТ відноситься до групи спадково дрібнозернистих сталей (табл. 3.5), що істотно спрощує проведення хіміко-термічної обробки, дозволяючи робити гартування з цементацийного нагріву. Наявність такого легуючого елемента, як титан, знижує ступінь зростання зерна при нагріванні.

Таблиця 3.5

Вплив температури нагрівання за 3 год. на зростання зерна сталі 18ХГТ [64]

Марка сталі	Номер зерна при t, °С						
	960	1000	1050	1100	1150	1200	1300
18ХГТ	8	8	8	5-6	3-4	3	2

При повній прокалюваності сталь має кращі механічні властивості, особливо опір крихкому руйнуванню, низький поріг холодноломкості, високе значення роботи розвитку тріщини і КСТ і в'язкість руйнування. Смуга прокалюваності зображена на рисунку 3.1 [65].

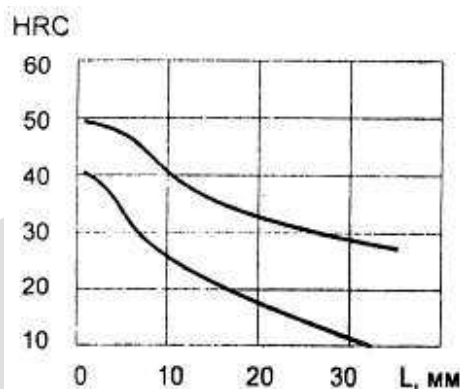


Рисунок 3.1 – Смуга прокалюваності сталі 18ХГТ [65]

Сталь 18ХГТ - це дрібнозерниста сталь, яка не схильна до зростання зерна в умовах тривалого впливу високої температури. Тому цементацію можна проводити при достатньо високих температурах, що пришвидчить час її проведення. В іншому випадку високотемпературна цементація в поєднанні з безпосереднім загартуванням викликають крихкість сталі [65].

3.3 Вплив легуючих елементів на властивості сталі 18ХГТ

Сталь 18ХГТ – відноситься до економно-легованих, конструкційних, низьколегованих і якісних сталей. Вона містить порядку 0,30% вуглецю, 1,0%

хрому, 1,0% марганцю, до 1,0% титану, а також такі елементи, як кремній, нікель, мідь, фосфор й сірку, що впливають на властивості сталі.

Легуючі елементи при введенні в сталь можуть утворювати із залізом тверді розчини, легований цементит або самостійні спеціальні карбіди, інтерметалічні з'єднання. Основними легуючими елементами сталі є хром, марганець і титан. Титан, вводиться в сталь у поєднанні з хромом і марганцем для додаткового поліпшення властивостей. Для досягнення високої прогартованості сталь легують як дешевими елементами - марганцем і хромом, так і більш дорогим – Ni [65].

Хром - порівняно дешевий елемент і широко використовується для легування сталі. Він розчиняється в фериті і цементиті, сприятливо впливає на механічні властивості. Хром підвищує прогартованість, твердість, межу міцності, корозійну стійкість; незначно зменшує характеристики пластичності сталі. Вміст кремнію в сталі в якості домішків не перевищує 0,37%. Кремній і марганець переходять в сталь в процесі її розкислення при виплавці. Вони розкисляють сталь, тобто, з'єднуючись з киснем окису заліза FeO , у вигляді оксидів переходять в шлак. Ці процеси розкислення покращують властивості сталі. Кремній, дегазує метал, підвищує щільність відливки. Кремній, що залишається після розкислення в твердому розчині (в фериті), сильно підвищує межу плинності σ_t . Це знижує здатність сталі до видовження і особливо до холодної усадки. Марганець дешевий елемент, застосовується як замітник в сталі нікелю. Як і хром, марганець розчиняється в фериті і цементиті. Підвищуючи стійкість аустеніту, марганець знижує критичну швидкість загартування, проте мало впливає на прогартованість цементованного шару, визначає схильність до внутрішнього окислення [65].

Додаткове легування сталі 18ХГТ нікелем (його міститься всього лише 0,30%) підвищує опір крихкому руйнуванню сталі, збільшуючи пластичність і в'язкість, зменшуючи чутливість до концентраторів напруг і знижує температуру порога холодного руйнування. Нікель - дорогий метал, його вводять спільно з хромом та іншими елементами, при цьому в гранично мінімальній кількості. Нікель забезпечує високу межу міцності, підвищує опір удару і впливає на зміну коефіцієнта теплового розширення. Легування сталі невеликими кількостями до

0,03-0,09 % Ті, що утворюють важкорозчинні в аустеніті карбіди, подрібнює зерно, що знижує поріг холодного руйнування, зменшує чутливість до концентраторів напружень. Титан підвищує межу міцності; покращує оброблюваність і опір корозії [65].

Сірка є шкідливою домішкою в сталі. Вміст сірки в сталі суворо обмежується; воно не повинно перевищувати 0,035-0,06 %. Фосфор є шкідливою домішкою, і зміст його залежно від якості сталі допускається не більше 0,025-0,045 % [65].

3.4 Вибір методів дослідження

При проведенні мікроскопічного аналізу використовувалися металографічний мікроскоп МИМ-7 (рис. 3.2), що призначений для спостереження і фотографування мікроструктури металів в звичайному світлі в світлому і темному полі та в поляризованому світлі в світлому полі. В даній роботі за допомогою металографічного аналізу можна оцінити однорідність структури, наявність нітроцементованого шару, глибину загартованого шару [67].



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд мікроскопа МИМ-7 [67]

Товщину дифузійного шару виміряно на приборі ПМТ-3 (рис. 3.3) [66-67].

У роботі було застосовано твердомір ТР – 5006 (рис. 3.4), який призначений для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла, пластмас, графітів і металографітів, фанери, пресованої деревини та інших матеріалів [66-67].



Рисунок 3.3 – Будова приладу ПМТ-3 [66-67]

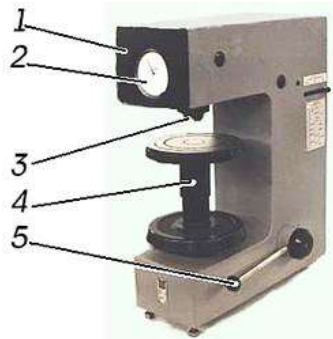


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд твердоміра ТР – 5006 [66-67]:

- 1 - станина;
- 2 - індикатор;
- 3 - алмазний наконечник-конус (індентор);
- 4 - стіл;
- 5 - ручка важеля навантаження

Висновки

При виборі матеріалу для виготовлення деталей за кресленнями замовника необхідно враховувати механічні характеристики після термічної обробки, ціну і дефіцитність легуючих добавок сталі і її загальну вартість.

Деталь зубчасте колесо виготовляємо зі економнолегованої сталі 18ХГТ – це конструкційна низьколегована, якісна сталь. Містить 0,30% вуглецю, 1,0% хрому, 1,0% марганцю, до 1,0% титану, а також кремній, мідь, нікель, фосфор і сірку, які впливають на властивості сталі.

Основними легуючими елементами сталі є хром, марганець і титан. Титан, вводитьься в сталь у поєднанні з хромом і марганцем для додаткового поліпшення властивостей. Для досягнення високої прогартованості сталь лежуть як дешевими елементами – марганцем і хромом, так і більш дорогим – нікелем.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КОНІЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО»

4.1 Вибір методу отримання заготовки і розробки технологічного процесу отримання деталі «конічне зубчасте колесо»

Для розробки технологічного процесу обробки деталі необхідно попередньо вивчити її конструкцію і функції, виконувани в вузлі, механізмі, машині, проаналізувати технологічність конструкції і проконтролювати креслення [66].

Технологічний процес виготовлення зубчастих коліс є багатоопераційним. Операції гарячої пластичної деформації і механічної обробки поєднуються з операціями термічної обробки заготовок і хіміко-термічної обробки деталей. Способом підвищення довговічності зубчастих коліс є застосування легованих сталей і зміцнення термічною або хіміко-термічною обробкою [66].

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 [66].

Заготовкою для виготовлення колеса служить кування. Це заготовка, яку отримують ковкою для подальшої механічної обробки. Для отримання заготовки нашої деталі (зубчасте колесо) необхідно використовувати одну з основних операцій кування – кування на круг у вирізних бойках. Кування - операція подовження заготівлі або її частини за рахунок зменшення площі поперечного перерізу. Кування на круг проводять вирізними бойками [66].

Виходячи з того, що у нас $N=10000$ шт/рік, серійний тип виробництва, вид деталі конічне зубчасте колесо, яке виготовляється з хромонікелевої сталі 18ХГТ, прокатом не доцільно отримувати заготівлю. Ми не можемо прийняти спосіб лиття матеріалу. Спосіб отримання заготовки – методом кування з подальшим застосуванням методу штампування шляхом гарячого об'ємного штампування

пневматичним штампувальним молотом і штампом. Штампування – це процес обробки металу тиском, у якому виготовлення форми деталі здійснюється у спеціалізованому пристосуванні – штампі [66]. Цей традиційний метод дозволяє поєднати хорошу якість та низьку вартість. По виду заготовки розрізняють: об'ємне штампування та листове штампування. По температурі процесу: холодне та гаряче. Порівняно з куванням штампування забезпечує більшу продуктивність завдяки тому, що пластично деформується одночасно вся заготівля або значна її частина. Для штампування використовуються різноманітні машини: молоти; кривошипні преси; ковальсько-штампувальні автомати [66].

В даному випадку використовується молот штампувальний пароповітряний пневматичний подвійного впливу аркового типу MB2140. Молот пароповітряний штампувальний має конструкцію, що складається з наступних частин: поршень, шток, бабка та станина, напрямні та інші. Металеві заготовки обробляються штампами. При цьому верхня половина штампу прикріплена до бабки, а шабот є утримувачем нижньої частини штампу. Заготівля розташовується у нижній половині штампу. Форма виробу надається у вигляді удару поршня по заготівлі. Основні параметри, якими характеризується молот – це кількість кінетичної енергії та маса [66].

У сучасному виробництві зубчастих коліс переважно застосовується технологічний процес з цементацією робочих поверхонь коліс. У цьому випадку технологічний процес виготовлення включає в себе наступні основні операції наведені в додатку В. Він представлений з термічною обробкою нормалізація, цементація, гартування із підстужуванням із цементаційного нагріву і низький відпуск) [66].

Як правило, конструкцією зубчастих коліс передбачається цементація тільки зубчастих вінців і посадочних місць під підшипники, отже, інші поверхні колеса повинні бути захищені від цементації. Захист від цементації виконується або "напусками" (припусками, що перевищують по товщині глибину цементованої шару), або гальванічним міднінням [66].

Маршрутна технологія отримання деталі наведена в Додатку А.

4.2 Особливості механічної обробки маршрутної технології отримання деталі

Технологічний маршрут механічної обробки конічних зубчастих коліс, так само як і при обробці циліндричних коліс, може бути розділений на два етапи: обробка заготовок до зубонарізання і власне операція зубонарізання. Залежно від конфігурації конічних коліс, їх розмірів і масштабу випуску технологічні маршрути механічної обробки різні [66].

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 (рис. 4.1, а – 4.1, г). Недоліком цього методу є зниження точності нарізання зубів, обумовлене зносом фрез [9, 12-14].

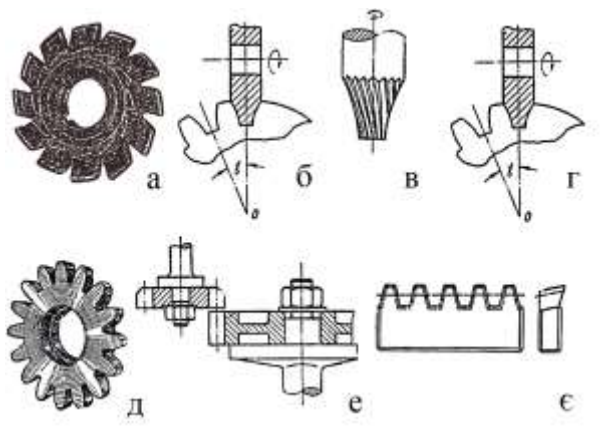


Рисунок 4.1 – Способи виготовлення зубів зубчастих передач [9]

Конічні зубчасті колеса діаметром до 450 - 600 мм залежно від передавального числа зубчастої пари та з модулем до 20 мм зазвичай виготовляються на зубострогальних верстатах методом обкатки. Точність цих передач відповідає 7 – 8 ступеня. Більші конічні колеса діаметром до 3000 - 4500 мм і модулем до 70 мм нарізаються методом одиночного розподілу на зубострогальних верстатах по копію з точністю 9 або 10 ступеня. Для скорочення пригонки при складальних роботах та зменшення шуму передачі застосовують фланкування профілю зачеплення, яке має бути передбачене для профілювання інструменту [66].

При нарізанні зубів методом обкати використовують: нарізання зубів за допомогою зубчастої рейки (рис. 4.1, ж); нарізання зубів за допомогою черв'ячної фрези; нарізання зубів за допомогою довб'яка (рис. 4.1, д, е). Найбільш поширеним у машинобудуванні є виготовлення зубів зубчастих передач шляхом нарізання за допомогою зубчастої рейки [9, 12-14].

Метод обкату в даний час є найбільш технологічним, а тому і найпоширенішим способом виготовлення зубчастих коліс. При виготовленні зубчастих коліс можуть застосовуватися такі інструменти, як гребінка, черв'ячна фреза і довб'як [9, 12-14].

Метод обкату із застосуванням гребінки: ріжучий інструмент, що має форму зубчастої рейки, називається гребінкою. На одній із сторін гребінки по контуру її зубів заточується ріжуча кромка. Заготовка нарізувального колеса робить обертовий рух навколо осі. Гребінка здійснює складний рух, що складається з поступального руху перпендикулярно осі колеса і зворотно-поступального руху, паралельного осі колеса для зняття стружки по всій ширині його обода [9, 12-14].

Метод обкату із застосуванням черв'ячної фрези: крім гребінки в якості ріжучого інструменту застосовують черв'ячну фрезу. У цьому випадку між заготівлею та фрезою відбувається черв'ячне зачеплення (рис. 4.2) [9, 12-14].

Метод обкату із застосуванням довб'яка: зубчасті колеса також довбають на зубодовбальних верстатах із застосуванням спеціальних довб'яків. Зубодовбальний довб'як являє собою зубчасте колесо, забезпечене ріжучими крайками. Оскільки зрізати відразу весь шар металу зазвичай неможливо, обробка проводиться в кілька етапів. При обробці інструмент робить зворотно-поступальний рух відносно заготовки. Після кожного подвійного ходу, заготовка та інструмент повертаються щодо своїх осей на один крок. Таким чином, інструмент і заготовка як би «обкатуються» один по одному. Після того, як заготовка зробить повний оборот, довб'як робить рух подачі до заготовки. Цей процес відбувається до тих пір, поки не буде видалений весь необхідний шар металу [9, 12-14].

Висновки

Розроблюваний технологічний процес повинен бути прогресивним, забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості деталей, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

Базовою вихідною інформацією для проектування технологічного процесу є: робочі креслення деталей, технічні вимоги, які регламентують точність, параметр шорсткості поверхні та інші вимоги якості; обсяг річного випуску виробів, що визначає можливість організації поточного виробництва.

Заготовкою для виготовлення колеса служить кування з подальшим штампуванням. Це заготовка, яку отримують ковкою для подальшої механічної обробки. У розділі представлена маршрутна технологія отримання деталі з термічною обробкою (нормалізація, цементация, гартування із підстужуванням з цементацийного нагріву і низький відпуск). Після виготовлення вироби обов'язково піддають контролю. Основними характеристиками, які контролюють в зубчастих колесах, є твердість поверхні і серцевини, глибина шару і структура.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Вибір і обґрунтування процесу термічної і хіміко-термічної обробки

Для зубчастих коліс застосовують такі основні види поверхневих термічних і хіміко-термічних зміцнень: поверхнєве гартування, цементация і нітроцементация з гартуванням, азотування [66].

Для забезпечення надійності і тривалості роботи шестерень особливе значення має правильний вибір сталі для їх виготовлення і термічної обробки з урахуванням умов експлуатації [66].

Поверхнєве гартування зубів із нагріванням струмом високої частоти (СВЧ) доцільне для зубчастих коліс із модулем більше 2 мм. При малих модулях дрібний зуб загартовується наскрізь, що приводить до короблення і робить зуб ламким. Для гартування із нагрівом СВЧ застосовують сталі марок 45, 40Х, 40ХН, 35ХМ. Твердість поверхневого шару 45-53 HRC. При $H > 350$ HB твердість матеріалу вимірюють по шкалі С - Роквела. Зуби коліс із твердістю $H > 45$ HRC нарізають до термообробки. Кінцеву обробку зубів (шліфування й інші) виконують після термообробки. Передачі з твердими ($H > 45$ HRC) робочими поверхнями зубів погано припрацьовуються. Зміцнююча обробка і величина твердості [66]: нормалізація (HB 187-250); поліпшення (HB 235-302); поверхнєве гартування зубів із нагріванням струмом високої частоти (СВЧ) (HRC 45-53); цементация (поверхнєве насичення вуглецем) із наступним гартуванням (HRC 56-63); азотування (насичення азотом) без наступного гартування (HRC 58-65).

Несуча спроможність зубчастих передач по контактної міцності тим вище, чим вище поверхнева твердість зубів. Тому доцільне застосування поверхневого термічного або хіміко-термічного зміцнення. Ці види зміцнення дозволяють у декілька разів підвищити навантажувальну спроможність передачі в порівнянні з поліпшеними сталями. Наприклад, допустимі контактні напруження $[\sigma]_H$ цементованих зубчастих коліс у два рази перевищують значення $[\sigma]_H$ коліс, які піддано термічному поліпшенню, що дозволяє зменшити масу в чотири рази.

Проте при призначенні твердості робочих поверхонь зубів слід мати на увазі, що більшій твердості відповідає більш складна технологія виготовлення зубчастих коліс і малі розміри передачі (що може привести до труднощів при конструктивній розробці вузла) [68].

5.1.1 Цементация, як один із методів підвищення властивостей зубчастих коліс

Для зубчастих коліс можна застосовувати цементацию. Це процес високотемпературного насичення поверхневого шару сталі вуглецем. Через те що вуглець в α -фазі майже нерозчинений, процес цементации здійснюють в інтервалі температур 930 - 950 °С, тобто вище $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворювання. Цементацию, як процес ХТО, переважно застосовують для низьковуглецевих сталей типу Ст2, Ст3, 08, 10, 15, 20, 15Х, 20Х, 20ХНМ, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 15ХГНТА, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА та інші. Сталі, пропоновані для цементации, повинні мати якісне прогартовування та загартування цементованого шару, що забезпечують потрібний рівень міцності, зносостійкості та твердості. Прогартовування «серцевини» регулюють вузьким діапазоном твердостей, який становить 30 - 40 НРС. Через тривалість процесу цементации та високу температуру рекомендовано використовувати спадкоємні дрібнозернисті сталі, розмір зерна яких не перевищує 6 – 8 балів. В іншому випадку в ході цементации спостерігається значне зростання зерна «серцевини» виробу, що призводить до зниження його експлуатаційних властивостей. Цементация відбувається у вуглеценасичених твердих, рідких або газоподібних середовищах, у спеціальних контейнерах, що мають назву карбюризатори [66, 69].

Карбюризатором для цементации в твердому середовищі служать дрібні шматки деревного вугілля, покриті вуглекислими солями барію і натрію, які прискорюють процес цементации. Деталі поміщають в спеціальний сталевий ящик, засипають з усіх боків карбюризатором і ящик накривають кришкою. Потім ящик, поміщають в термічну піч і нагрівають до $T = 900 - 950$ °С при витримці - 10 - 12 год., товщина шару - 0,7 - 1,5 мм. При цій температурі деревне вугілля

розкладається і атоми вуглецю насичують поверхні деталей. Ящик після цементациї охолоджують на повітрі до температури 300 - 400 ° С, витягають з нього деталі, після чого переводять термічну обробку деталей, як правило, гартування з наступним низьким відпуском. Більш детально цей процес розглянемо далі [66, 69].

Газова цементация здійснюється нагріванням виробів в середовищі вуглевмістних газів (природний газ або пропан-бутанова суміш). Газова цементация - більш ефективний процес, ніж цементация в твердому карбюризаторі, так як відпадає необхідність в ящиках, які слід нагрівати, процес легше автоматизується і економічніший. Крім того, можна безпосередньо з печі, де виробляється цементация, виконувати термообробку деталей при $T = 920-930^{\circ}\text{C}$ з витримкою - 4-6 годин, охолодження – повітря [66, 69].

Час на цементацию і термообробку скорочується більш ніж в два рази. Цементациї піддаються сталеві деталі, що працюють на стирання і відчувають ударні навантаження: валики, зубчасті колеса, поршневі пальці, кулачки, пальці ланок гусениць і інші [66, 69].

Рідка цементация призначена для дрібних деталей (наприклад болти, гвинти і т.д.). Рідка цементация проводиться шляхом занурення деталі в піч з розчином бензину (гасу)+ BaCl_2 при $T = 840-960^{\circ}\text{C}$, витримка - 6 годин, охолодження – повітря [66, 69].

Метою цементациї є отримання твердої та зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглецем та наступним гартуванням із низьким відпуском. Цементация та наступна термічна обробка одночасно підвищує і межу витривалості [66, 70].

Ділянки деталей, які за технологічними умовами не повинні цементуватися, захищають від навуглецювання наступними способами [66, 70]:

1. Залишенням припуску у виробках, оброблюваних різанням. У місцях, що не підлягають цементациї, залишають припуск більший, ніж задана глибина цементациї. Перед гартуванням цей припуск видаляється на верстаті.

2. Накладання обмазки. В якості обмазки, що накладається на місця, які не підлягають цементації, застосовуються: глина, змішана з рідким склом; суміш з глини, піску і азбесту подрібненого, замішана на рідкому склі; суміш з термоізоляційного порошку або кварцового піску (75 %) і дрібної окалини (25 %), просіяних через сито з осередками 1x1 мм; нанесення міді - ділянки, що не підлягають цементації, покривають шаром міді товщиною 0,03-0,04 мм. Цей спосіб вимагає спеціального гальванічного устаткування.

Цементацію, як правило, проводять при температурах вище точки A_{c3} , при яких стійкий аустеніт, що розчиняє в великій кількості вуглець. При цементації сталі атоми вуглецю дифундують в решітку γ -заліза [19].

Товщина (ефективна) цементованого шару зазвичай складає 0,5 – 1,8 мм. Чим вище температура, тим більша товщина шару, що отримується за даний проміжок часу. Концентрація вуглецю в поверхневому шарі виробу зазвичай становить 0,8-1,0 % і не досягає межі розчинності при температурі цементації. Для отримання максимального опору контактної втомлюваності кількість вуглецю може бути підвищено до 1,1 – 1,2 %. Більш висока концентрація вуглецю викликає погіршення механічних властивостей цементованого виробу. Отже, сітка Fe_3C при температурі цементації не утворюється, і поверхневий шар, як і серцевина, знаходиться в аустенітному стані [66, 70].

5.1.2 Основні параметри газової цементації

Найчастіше на теперішній час застосовується газова цементація, яка має наступні основні параметри [66, 69]. Температурний режим для цементації складається з двох або з трьох періодів. Перший період; нагрівання деталей до заданої робочої температури. Температура в шахтних печах спочатку знижується на 100 - 200 °С, так як піч деякий період часу залишається відкритою і в неї завантажуються холодні деталі, а потім відбувається піднімання температури до необхідного значення. Другий період; витримка при робочій температурі процесу, яка за весь період залишається незмінною. Третій період: підстужування до температури гартування та безпосереднє гартування зубчастих коліс.

До головного фактору температурного режиму цементації відноситься робоча температура процесу, яка встановлюється в інтервалі 900 - 1000 °С. Цементацію в інтервалі температур 900 - 950 °С, умовно прийнято вважати звичайною, а в інтервалі порядку 970 - 1100 °С – високотемпературною [66, 69].

З легованих сталей найменш схильними до зростання зерна і тому найбільш придатними для високотемпературної цементації є марки 18ХГТ, 30ХГТ, 15ХГНТА, 12ХН3А та ін. [66, 69].

5.2 Зміцнююча термічна обробка деталі «конічне зубчасте колесо»

Пропонована термічна обробка для сталі 18ХГТ наступна. У якості попередньої ТО застосовується нормалізація – різновид відпалу. Це термічна обробка, при якій виріб нагрівають до аустенітного стану, на 30 – 50 °С вище A_3 або A_{cm} , для нашої обраної сталі при 930-960 °С з подальшим охолодженням на повітрі [71].

Нормалізація – це термообробка, коли сталь охолоджується не в печі, як при відпалі, а на повітрі в цеху. Нагрівання ведеться до повної перекристалізації, внаслідок якої сталь набуває дрібнозернисту і однорідну структуру. Твердість, міцність сталі після нормалізації вищі, ніж після відпалу. В результаті нормалізації отримують більш тонку будову евтектоїда (тонкий перліт або сорбіт), зменшуються внутрішні напруги, усуваються вади, отримані в процесі попередньої обробки. Твердість і міцність дещо вищі ніж після відпалу [71].

При газовій цементації деталей з спадково-дрібнозернистої сталі із зерном 6 - 8 (наприклад, сталь 18ХГТ) широке поширення отримало безпосереднє гартування із цементаційної печі з попереднім підстужуванням. Цей спосіб є найбільш простим і економічним. Залежно від марки цементуємої сталі температура підстужування коливається в межах 780 - 840 °С. При високотемпературній цементації сталі типу 18ХГТ перед гартуванням проводять рівномірне по всьому об'єму деталі підстужування до температури 800 - 810 °С

[71]. Після гартування проводиться низькотемпературний відпуск при 180 - 200 °С, із охолодженням на повітрі (рис. 5.1).

Цементация з безпосереднім гартуванням з попереднім підстужуванням має ряд переваг [71]: зменшується, а навіть повністю усувається утворення окалини і знеуглецювання, підвищується продуктивність та знижуються витрати на обробку, знижується собівартість термічної обробки; з'являється можливість поєднання всього циклу обробки в одній печі із повною механізацією й автоматизацією всіх операцій.

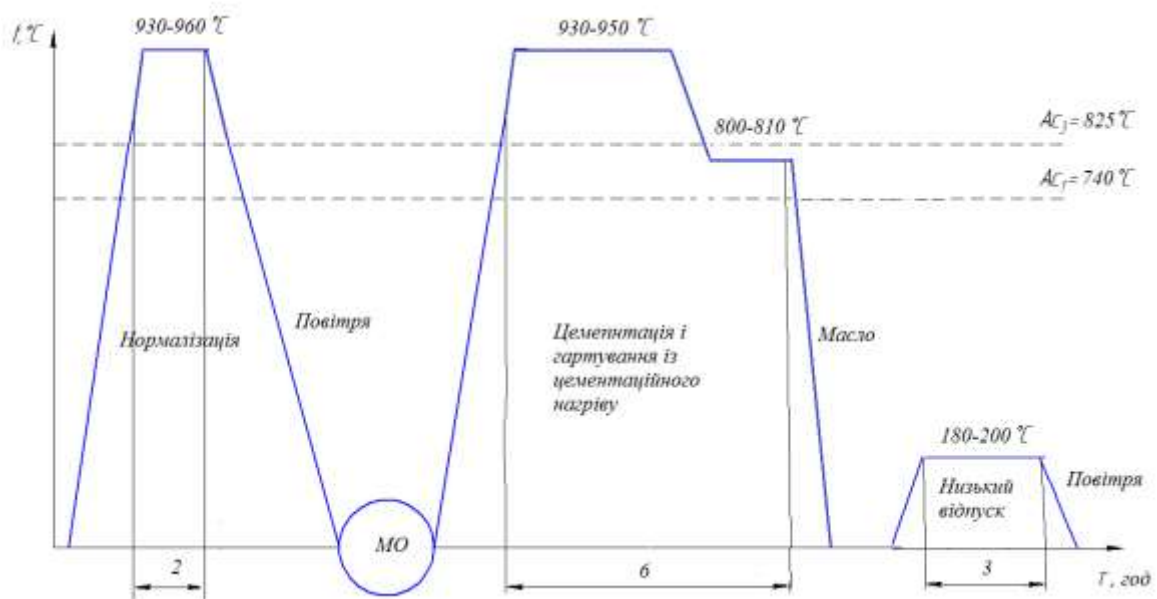


Рисунок 5.1 – Графік пропонуваної термічної і хіміко-термічної обробки сталі 18ХГТ

Недоліками такого процесу цементации є підвищення деформації деталей і збільшення кількості залишкового аустеніту у сталі. Частково ці недоліки можна усунути підстужуванням деталей перед гартуванням. Гарні результати дає цементация з безпосереднім гартуванням деталей, виготовлених із спадково-дрібнозернистих сталей 18ХГТ, 30ХГТ і інші [60].

Отже, режими термічної і хіміко-термічної обробки сталі 18ХГТ:

- нормалізація при температурі 930-960 °С протягом 2 годин; отримуємо твердість 157-207 НВ.

- цементация сталі при температурі 930-950 °С в газовому карбюраторі протягом 6 годин;

- підстужування до температур вище точки $A_{C1} + 30 \dots 50$ °С й гартування при 800 - 810 °С, охолодження в маслі;

- низький відпуск при 180 -200 °С.

Остаточна твердість серцевини склала 285 НВ, поверхні - 56-62 НRC.

Після нормалізації сталь 18ХГТ має ферито-перлітну структуру, а саме сорбітообразний перліт і ферит (рис. 5.2). Спостерігається більше ділянок з феритною структурою, з перлітною - менше.

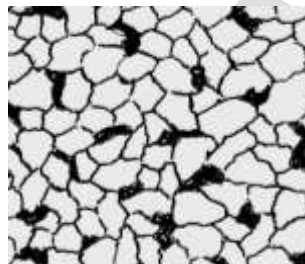


Рисунок 5.2 – Мікроструктура сталі 18ХГТ після нормалізації, х200

Структури після остаточної ТО і ХТО приведено на рисунку 5.3.

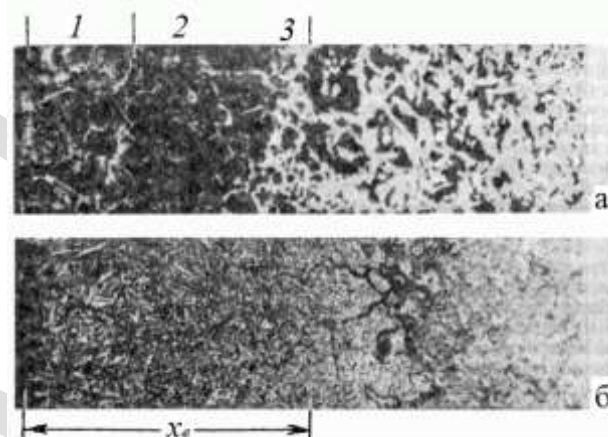


Рисунок 5.3 – Мікроструктура цементованного шару після цементації (а) і гартування із підстужуванням і низького відпуску (в поверхневому шарі: мартенсит, цементит і залишковий аустеніт) (б), х200: 1 - заевтектоїдна зона (цементит у вигляді тонкої сітки); 2 - евтектоїдна (перліт); 3 - доевтектоїдна зона (перліт - темні, ферит - білі участки); x_e - ефективна товщина шару

Вміст вуглецю в поверхневому шарі після насичення має становити 0,8-1,0 % вуглецю. При меншому рівні знижується контактна витривалість сталі, при більш високому вмісті зростає крихкість і знижується втомна міцність виробів.

Цементация зубчастого колеса зі сталі 18ХГТ проводиться в газовому середовищі, що складається з 3-5% ендогазу і природного газу. Підстужування сприяє зниженню викривлення деталей і підвищенню твердості поверхні за рахунок зменшення кількості залишкового аустеніту [71].

Гартування зубчастого колеса зі сталі 18ХГТ проводиться в маслі типу МЗМ-120, $t_m = 20-80$ °С. Температура спалаху даного типу масла становить 220 °С. Максимальна робоча температура масла не повинна перевищувати 190 °С [60, 66].

Загальна тривалість цементации складається з суми часу, необхідного для прогріву деталей до робочої температури процесу, часу витримки при цій температурі для отримання цементованного шару заданої глибини і часу підстужування, якщо воно проводиться в печі або в колодязях [71].

Після гартування в маслі, проводиться очищення виробів в миючій машині в 3-5 % водному розчині лугу NaOH.

Для отримання необхідних властивостей зубчасте колесо піддають низькому відпуску при температурі 180-200 °С [60, 66]. Тривалість відпуску визначається з урахуванням коефіцієнта легування і часу на нагрів пристосування. Після відпуску виріб охолоджуємо на повітрі. Після проведеної термічної обробки зубчасте колесо буде піддаватися контролю якості.

5.3 Вибір необхідного обладнання та розрахунок його кількості

Все обладнання термічних цехів, що знаходиться на машинобудівних підприємствах буває наступних видів: основне, додаткове і допоміжне. До основного обладнання [72] відноситься устаткування для здійснення основних операцій пов'язаних з нагріванням і охолодженням деталей: печі; печі-ванни; нагрівальні пристрої і установки; охолоджуючі пристрої; преси; мийні машини.

Для нормалізації вибираємо шахтну електричну піч СШЗ-10.20/10 с такими технічними характеристиками (табл. 5.1). Електропіч опору шахтна

СШЗ-10.20/10 призначена для термообробки сталевих виробів в захисній вибухобезпечній атмосфері, склад якої визначає споживач. Електропеч (рис. 5.4) складається з кожуха, футерування, нагрівачів, електромеханічного механізму підйому і повороту кришки [73].

Таблиця 5.1

Технічні характеристики печі СШЗ–10.20/10 [73]

Технічна характеристика печі	Величина
Діаметр, м	1,0
Висота, м	2,0
Об'єм робочого пространства, м ³	1,58
Температура, °С	1000
Садка, т	2
Габарити, м	3,6×3,6×4,5
Продуктивність, кг/ГОД	120
Потужність, кВт	165

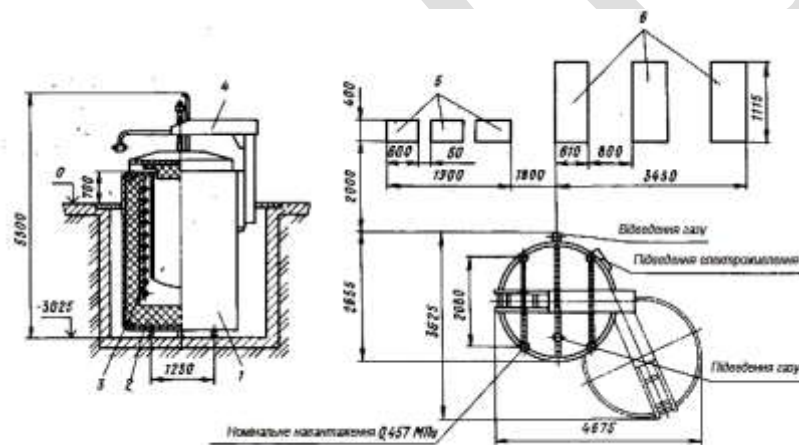


Рисунок 5.4 – Габаритні розміри і пропоноване розміщення обладнання електропечі СШЗ-10.20/10: 1 – кожух, 2 – футеровка, 3 – нагрівачі, 4 – механізм підйому і поворот [73]

Термообробка деталей в електропечі проводиться в середовищі захисної атмосфери ендогазу з можливими добавками природного газу або пропану. Для проведення термообробки деталей електропеч розігрівається до номінальної температури. При досягненні номінальної температури в робочому просторі припиняється подача електроенергії на нагрівачі, піднімається кришка [72].

Для проведення процесу газової цементації деталей використовуємо шахтні безмуфельні електричні печі. При експлуатації таких печей рекомендується максимальна робоча температура 950 °С. Для цементації застосовуємо шахтну безмуфельну електричну піч СШЦМ - 10.20/10 (табл. 5.2) [73].

Таблиця 5.2

Технічні характеристики печі СШЦМ–10.20/10 [73]

Технічна характеристика печі	Величина
Діаметр, м	1,0
Висота, м	2,0
Об'єм робочого простору, м ³	1,0
Температура, °С	1000
Садка, т	2
Габарити, м	2,7×2,6×4,3
Продуктивність, кг/год	60
Потужність, кВт	100

Шахтні печі СШЦМ (рис. 5.5) для газової цементації сталі з вертикальним завантаженням. Їх призначення: цементація, нітроцементація, карбонітрація, азотування, термообробка після процесів ХТО в повітряному або захисному середовищі [73].



Рисунок 5.5 – Конструкція печі СШЦМ - 10.20/10: 1 - корпус електропічі, 2 - реторта з жароміцної сталі, 3 - механізм підйому кришки, 4 - кришка печі, 5 - пульт управління, 6 - газова стійка [73]

Для низького відпуску застосовуємо піч СШО 10.20/6 (табл. 5.3) [73]. Електропіч опору шахтна СШО-10.20/6 призначена для термообробки сталевих виробів в окислювальній атмосфері (повітрі) і складається (рис. 5.6) з наступних основних частин: системи КВП і автоматики 1; нагрівальної камери 2; кришки 3; механізму підйому і повороту кришки з контрвантажом і пристроєм для обмеження підйому і повороту кришки 4 [73].

деталей в печі, а також можливості проведення ремонтних робіт на термічній ділянці встановлюємо мостовий однобалочний кран вантажопідйомністю $Q = 5\text{т}$ [73]. Розрахунок річної виробничої програми термічної дільниці. Визначаємо обсяг термічної обробки конічного зубчастого колеса. Він дорівнює 315 тонн. Так як маса однієї деталі становить 31,5 кг, то річне завдання становить 10000 штук на рік (табл. 5.4). Ширина деталі – 165 мм, діаметр деталі – 370 мм, маса деталі – 31,5 кг [73].

Таблиця 5.4

Характеристика етапів ТО і кількість виробів на кожному етапі [73]

Група деталей	Операція для деталі та її кількість		
	Нормалізація, гартування	Цементация	Низькотемпературний відпуск
Зубчасте колесо конічне	10000	10000	10000

Було використано такі печі для термічної обробки: СШЗ-10.20/10 – нормалізація, СШЦМ-10.20/10 – цементация і гартування із цементациного нагріву, СШО-10.20/6 – відпуск.

Фонд часу при двухзмінній роботі цеху складає 3910 годин, а при одній 2000 годин. Обираємо двухзмінній режим роботи. Проводимо визначення заборгованості печі, тобто кількість годин роботи печі, які потрібні для обробки однієї групи (садки) деталі по програмі. Розрахунок необхідної кількості обладнання за укрупненими показниками проводимо, користуючись відомостями з таблиці 5.4 [72].

При нормалізації:

1. СШЗ - 10.20/10, продуктивність = 120 кг/годину

$315000/120=2625$ годин - заборгованість печі

$2750/3910=0,67$

$ККД=(0,67*100)/1=67,3\%$, тобто вибираємо 1 піч для нормалізації.

Для цементациї і гартування із цементациного нагріву:

2. СШЦМ-10.20/10, продуктивність = 60 кг/годину

$315000/60=5250$ годин - заборгованість печі

$5250/3910=1,34$

ККД= $(1,34*100)/2=67\%$, тобто вибираємо 2 печі.

Для відпуску

3. СШО-10.20/6, продуктивність = 95 кг/годину

$3150000/95=3316$ годин - заборгованість печі

$3316/3910=0,85$

ККД= $(0,85*100)/1=85,0\%$, тобто вибираємо 1 піч.

Отже, за результатами розрахунків для проведення термічної обробки 315 т конічних зубчастих коліс зі сталі 18ХГТ необхідна наступна кількість обладнання:

- для нормалізації піч СШЗ-10.20/10 – 1 шт.;
- для відпуску піч СШО-10.20/6 – 1 шт.;
- для цементації і гартування із цементационого нагріву - піч СШЦМ-10.20/10 – 2 шт.
- гартувальний бак (вода, масло) – 2 шт.

Зведена відомість основного і допоміжного обладнання наведена в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Зведена кількість обладнання

Позиція	Найменування	Кількість
1	Піч для нормалізації СШЗ-10.20/10	1
2	Щит керування	4
3	Місце складування	4
4	Для цементації СШЦМ-10.20/10	2
5	Гартувальний бак (вода, масло)	2
6	Мийна машина	1
7	Піч для відпуску СШО-10.20/6	1
8	Пристрій для вимірювання твердості	2
9	Мостовий кран	1

Висновки

Для зміни структури, механічних, фізичних і хімічних властивостей виробів з металів і сплавів застосовують технологічний процес теплової обробки - термічну або (і) хіміко-термічну обробку.

Для виготовлення конічного зубчастого колеса було застосовано сталь 18ХГТ, для якої обрано прогресивну технологію зміцнюючої ХТО, а саме, нормалізацію, цементацію, гартування із підстужуванням із цементаційного нагріву і низький відпуск.

До основних параметрів газової цементації відносяться: температура цементації, швидкість цементації і режими охолодження деталей після цементації. Цементація з безпосереднім гартуванням має ряд переваг: зменшується, а навіть повністю усувається утворення окалини і знеуглецювання, підвищується продуктивність та знижуються витрати на обробку, з'являється можливість поєднання всього циклу обробки в одній печі із повною механізацією й автоматизацією всіх операцій.

Недоліками такого процесу цементації є підвищення деформацій деталей та збільшення кількості залишкового аустеніту у сталі. Частково ці недоліки можна усунути підстужуванням деталей перед гартуванням.

Вибір обладнання для ТО і ХТО необхідно починати з аналізу існуючого на заводі обладнання. Потрібно проаналізувати переваги і недоліки устаткування, наявного на заводі, розглянути які види основного обладнання мають більшу продуктивність, забезпечують кращу якість термічної обробки, краще механізовані й автоматизовані.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній бакалаврській роботі було проаналізовано умови роботи конічного зубчастого колеса, яке служить для передачі крутного моменту з швидкохідного вала на проміжний допомогою шпонки. Відмова або руйнування зубчастого колеса тягне за собою припинення передачі крутного моменту і відмови рухових агрегатів. Найбільш завантаженою частиною зубчастого колеса є зуб.

2. Було виявлено причини виходу виробу із ладу: поломка зубів, в основному, зумовлюється втомленістю матеріалу, рідше – різким підвищенням навантаження. Це викликає зношення робочих поверхонь зубів, заїдання зубів чи їх пластичну деформацію.

3. Вибрано обладнання для проведення дослідження структури і властивостей виробу.

4. Для виготовлення конічного зубчастого колеса було обрано сталь 18ХГТ, для якої запропоновано прогресивну технологію термічної і зміцнюючої ХТО, а саме, нормалізацію, цементацію, гартування із підстужуванням із цементаційного нагріву і низький відпуск. Остаточна твердість серцевини склала 285 НВ, поверхні - 56-62 НРС.

5. Для деталі було розроблено маршрутну технологію виготовлення.

6. При виборі обладнання проаналізована і розрахована його оптимальна кількість для проведення термічної обробки деталі з метою забезпечення більшої продуктивності і ефективності щодо якості термічної обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Неснов Д.В. Зубчасті передачі: навчальний посібник / Д.В. Неснов, О.В. Фролов, І.М. Корецька. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 45 с.: 25 іл.
2. Бабенко А. О., Горяїнова О. В. Зубчасті колеса і зубчасті передачі методичні вказівки. Харків – 2021, 39 с.
3. Якимов А.А. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя зубов высокоточных зубчатых колес при шлифовке: дис ... докт. техн. наук: 05.02.08 / Якимов Алексей Александрович. - Одесса – 2015, 800 с.
4. Зубчасте колесо : методичні вказівки та завдання для виконання графічної і самостійної роботи студентами денної форми навчання з курсу «Інженерна графіка» / Укладачі : Ковбашин В.І., Пік А.І. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 16 с.
5. Буда А.Г. Розрахунок геометричних параметрів і виконання робочих креслень основних ланок зубчастих циліндричних, конічних, черв'ячних і ланцюгових передач / А. Г. Буда, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 84 с.
6. Пчелинцев В.А. Повреждаемость основных деталей машин: учебно-метод. пос. / В. А. Пчелинцев, В. Н. Раб. – Сумы : СумГУ, 2008. – 137 с.
7. Mironenko E. V., Klochko A. A., Kosheleva A. D., Gajula I. G. Analysis of the parameters of the surface layer hardened coarse-grained gears characterizing their performance characteristics. Instrument reliability and optimization of technological systems : collected papers. Tr. - Kramatorsk : DSMA, 2012. - Vol. 31. pp. 118-131.
8. Ковальов В.Д. Новітні технології виготовлення зубчастих коліс для важкого машинобудування / В. Д. Ковальов , Я. В. Васильченко, В. С. Антонюк, Волошин О. І., О. В. Статкевич, С. О. Іванов, О. О. Клочко, С. В.Рябченко // Оборудование и инструмент для профессионалов 2017. №3 – С.76-77.
9. 4. Ковальов В.Д. Впровадження інноваційних технологій виготовлення крупногабаритних редукторів важкого машинобудування / В. Д. Ковальов , Я. В. Васильченко, В. С. Антонюк, Волошин О. І., О. В. Статкевич, С. О. Іванов, О. О.

Клочко, С. В. Рябченко // Промышленность в фокусе. Харьков – 2018 № 6 (67) – С. 40-41.

10. Тайца Б.А. «Производство зубчатых колес» Справочник / Б.А. Тайца, Г.И. Коган. - М.: Машиностроение, 2000. – 464 с.

11. Поветкин В.В, М.Ф. Керимжанова, З.А. Ибрагимова, М.К. Татыбаев, И.Н. Исаева Обоснование технологических способов повышения долговечности зубчатых колёс // Прогрессивные технологии и системы машиностроения, № 1(51), 2015. - С. 165-171.

12. Невдаха Ю.А. Аналіз навантажувальної здатності зубчастих передач з різним профілем зубців / Ю.А. Невдаха, Г.І. Маломуж, В.М. Лушніков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць- Кропивницький, КНТУ, 2009. – 380 с.

13. Попов О.П. Особливості проектування сучасних зубчастих передач / Попов О.П., Кіпрєєв Ю.М. // Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв , Машинознавство, 2011, №7-8. - С.44-47.

14. Онищенко В. Вплив зносу двоопукловгнутих зубців конічних передач на параметри зачеплення / В. Онищенко А. Кузнецова// Донецький національний технічний університет. - Машинознавство, 2011, №11-12. - С.15-21.

15. Кривошея А.В. Совершенствование обобщенной унифицированной математической модели формообразования и обработки зубчатых колес / А.В. Кривошея, Ю.М. Данильченко, М. Г. Сторчак, В. Е. Мельник // «Оборудование и инструмент для профессионалов» Міжнародний інформаційно-технічний журнал. – 2010. – № 4 /127/. – С. 46–51.

16. Сігова В.І., Руденко Л.Ф. С 34 Технологічні процеси зміцнення та АСУ ТП (лабораторні роботи, завдання для контрольних робіт і ІДЗ): Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 197 с.

17. Кривошея А.В. Схематичне і структурне представлення способів задання та формоутворення плоских систем зубчастих зачеплень / А. В. Кривошея, В. Є. Мельник // Технічні науки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир, 2003. – Вип. 2(26). – С. 94–100.

18. Кривошея А.В. Задание и визуализация поверхностей зубчатых колес, исходных зубчатых колес, исходных формообразующих и исходных инструментальных тел / А. В. Кривошея, О. О. Пасичный // Современные проблемы и физико-химии процессов резания, абразивной обработки и поверхностного пластического деформирования : материалы межд. науч. конф: (14-16 мая 2002 г., Киев) / Институт сверхтвердых материалов. Киев, 2002. С. 2024.

19. Hyatt G., Piber, M., Chaphalkar, N., Kleinhenz, O., & Mori, M. (2014). A Review of New Strategies for Gear Production. *Procedia CIRP*, 14, 72 – 76. doi:10.1016/j.procir.2014.03.034

20. Chen X., Peng, L., Cheng, G., Luo, C. Research on degradation state recognition of planetary gear based on multiscale information dimension of SSD and CNN. *Complexity*, Volume 2019, 2019, Номер статьи 8716979. DOI: 10.1155/2019/8716979.

21. Eric C. ames Repair of High-Value/ High-Demand spiral Bevel Gears by superfinishing, *GEAR TECHNOLOGY*, 2012, pp. 50-59. www.geartechnology.com.

22. Gorla C., Rosa, F., Conrado, E., & Albertini, H. (2014). Bending and contact fatigue strength of innovative steels for large gears. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 228(14), 2469–2482. doi:10.1177/0954406213519614.

23. Hou H.C., & Wu Y. R. (2014). Dynamic Simulation and Analysis of Large-Scale Gear Reducers. *Advanced Materials Research*, 939, 530–538. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.939.530 .

24. Kijanka P., Jablonski A., Dziedziech K., Dworakowski, Z., & Uhl, T. (2016). Development of novel general equation for multistage epicyclic gearset with corrected teeth: non-constrained approach. *Smart Materials and Nondestructive Evaluation for Energy Systems 2016*. doi:10.1117/12.2218886.

25. Добротворский С.С. Опыт создания современных технологий изготовления нежестких деталей с применением передовых CAD/CAM/CAE систем / С. С. Добротворский, Е. В. Басова, М. И. Гасанов, Р. В. Головатый, С. А.

Гаков, С. С. Гнучих // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №. 4(1113). – С. 37–40.

26. Добротворский С.С. Исследование оптимального угла наклона концевой сферической фрезы относительно обрабатываемых поверхностей деталей сложной формы с переменной жесткостью / С. С. Добротворский, Е. В. Басова, М. И. Гасанов, Р. В. Головатый // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2015. – Вып. 69. – С. 108–112.

27. Гасанов М.І. Технологічний регламент оптимізації систем відновлення функціональних властивостей великогабаритних відкритих зубчатих передач / М. І. Гасанов, О. О. Ключко, О. Ю. Заковоротний, Є. В. Пермінов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: 303 Технології в машинобудуванні – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Techniques in a machine industry: зб. наук. пр. / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 6 (1282) 2018. – С. 107–112. – ISSN 2079–004X.

28. Ключко А.А. Технологические особенности кинематики зубообработки крупномодульных закаленных колес дисковыми немодульными фрезами / А. А. Ключко // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журн. – 2011. – № 2(62). – С. 78–83.

29. American Gear Manufacturers Association Fall Technical Meeting 2016, AGMA FTM 2016; Sheraton Pittsburgh Hotel at Station SquarePittsburgh; United States; 2 October 2016 до 4 October 2016; Код 125174.

30. Conrado E., & Gorla, C. (2011). Contact fatigue limits of gears, railway wheels and rails determined by means of multiaxial fatigue criteria. Procedia Engineering, 10, 965–970.doi:10.1016/j.proeng.2011.04.159 .

31. Fesenko A., Basova Y., Ivanov V., Ivanova M., Yevsiukova F., Gasanov, M. "Increasing of Equipment Efficiency by Intensification of Technological Processes",

<https://doi.org/10.3311/PPme.13198>.

32. Kotliar A. Ensuring the reliability and performance criterias of crankshafts / A. Kotliar, M. Gasanov, Y. Basova, O. Panamariova, S. Gubskiy – Diagnostyka, 2019; 20(1): 23–32. <https://doi.org/10.29354/diag/99605>.

33. Shapovalov V. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims / V. Shapovalov, A. Klochko, M. Gasanov, O. Antsyferova, A. Belovol // The current state of scientific research and technology in the industry. – Kharkiv, 2018. – № 1 (3). – P. 59–70.

34. Клименко О.Д. Підвищення довговічності силових зубчастих передач вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Національний ун-т «Львівська політехніка». - Л., 2004. – 24 с.

35. Патент на корисну модель «Конічна зубчата передача», u 2012 12992, 25.04.2013, Бюл.№ 8, 2013 р., автори Піпа Борис Федорович (UA), Хомяк Олег Миколайович (UA), Марченко Анатолій Іванович (UA), Київський національний університет технологій та дизайну.

36. Декларативний пат. на корисну модель u 2018 02191 UA, МПК F16H 5i9/04 (2016.01). Спосіб забезпечення контактування зубів ведучої шестерні з зубами веденого колеса / В. Д. Ковальов, О. О. Клочко, Д. О. Кравченко, О. М. Шелковий, О. А. Пермяков, М. І. Гасанов, А. О. Скоркін, О. Л. Кондратюк. – 4 с. : ил.

37. Ковалев В.Д. Цилиндрические зубчатые передачи с неньютоновским состоянием рабочей жидкости / В. Д. Ковалев, А. А. Клочко, Д. А. Кравченко, М. И. Гасанов // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XV Міжнародній науковопрактичній конференції, 30 травня – 1 червня 2017 р. / Під заг. ред. В.Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – С. 40.

38. Литвинов В.М. Технологические особенности спрерной закалки крупногабаритных зубчатых колес в тяжелом машиностроении / В. М. Литвинов,, Е. В. Мироненко, А. Н. Шелковой, М. И. Гасанов, А. А. Клочко // Надежность

инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2016. – Вып. 38. – С. 51–59.

39. Гасанов М.И. Имитационное моделирование технологических процессов восстановления крупногабаритных зубчатых колес с учетом прогрессирующих видов износа / М. И. Гасанов, О. М. Шелковий., О. О. Клочко, О. О. Анциферова // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 29–31 травня 2018 року / Під заг. ред. В.Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 18.

40. Гасанов М.И. Твердосплавные червячные фрезы после алмазной заточки для восстановления крупногабаритных зубчатых колес. Резание и инструменты в технологических системах / М. И. Гасанов // Международный научно-технический сборник / редкол.: А.И. Грабченко (отв. ред.). – Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – Вып. 88. – С. 32–42.

41. Добротворский С.С. Опыт создания современных технологий изготовления нежестких деталей с применением передовых CAD/CAM/CAE систем / С. С. Добротворский, Е. В. Басова, М. И. Гасанов, Р. В. Головатый, С. А. Гаков, С. С. Гнучих // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №. 4(1113). – С. 37–40.

42. Добротворский С.С. Исследование оптимального угла наклона концевой сферической фрезы относительно обрабатываемых поверхностей деталей сложной формы с переменной жесткостью / С. С. Добротворский, Е. В. Басова, М. И. Гасанов, Р. В. Головатый // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х.: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2015. – Вып. 69. – С. 108–112.

43. Клочко А.А. Физическая картина эффективности прогрессивных схем зубофрезерования / А. А. Клочко // Передовой производственный опыт и научно-технические достижения: информ. сборник. – М.: ВНИИТЭМР, 1990. – Вып. 8. – С. 12–13.

44. Клочко А.А. Технология чистовой лезвийной обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес / А. А. Клочко // Вестник Черниг. гос. технолог. ун-та. – 2011. – № 2(49). – С. 58–68.

45. Клочко А.А. Технологическое обеспечение трения качения и трения скольжения в зубчатых передачах / А. А. Клочко, М. И. Гасанов, Е. В. Басова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 40 (1149). С. 102–107.

46. Клочко О.О. Стабілізація трибологічного контактування у зубчастих передачах технологічними методами / О. О. Клочко, М. І. Гасанов, Є. В. Басова, Д. О. Кравченко // Збірник наукових праць. Прогресивні технології в машинобудуванні: Тези докладів V Всеукраїнської науковотехнічної конференції, 8–12 лютого 2016 р. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2016. – С. 50–51.

47. Клочко А.А. Исследование процессов зубофрезерования закаленных шевронных зубчатых колес / А. А. Клочко, М. И. Гасанов, Е. В. Басова, С. Ю. Палашек, А. Л. Невмержицкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – Вип. 40. – С. 90–101.

48. Клочко А.А. Технологический регламент выбора и назначения параметров состояния поверхностного слоя закаленных зубчатых колес / А. А. Клочко, М.И. Гасанов, Е. В. Басова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 145–157.

49. Клочко А.А. Новые способы высокоскоростной обработки закаленных цилиндрических зубчатых колес абразивным инструментом / А. А. Клочко М. И. Гасанов, О. А. Анцыферова // Інформатика, управління та штучний інтелект. Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 54–55.

50. Пермяков А.А. Актуальность дифференцированного и комплексного прогнозирования в условиях имитационного моделирования технологического обеспечения эксплуатационных свойств крупномодульных зубчатых колес / А. А.

Пермяков, А. Н. Шелковой, А. А. Клочко, А. А. Охрименко, М. И. Гасанов // Збірник наукових праць. Прогресивні технології в машинобудуванні: Тези докладів VII Всеукраїнської науково-технічної конференції, 5–9 лютого 2018 р. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2018. – С. 127–129.

51. Пермяков А.А. Математическая модель синтеза технологического регламента восстановления функциональных свойств крупномодульных зубчатых передач / А. А. Пермяков, А. А. Клочко, М. И. Гасанов // XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 19–22 червня 2018 р., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». – Київ: НТУУ «КПІ», 2018. – Т. 4. – С. 189–192.

52. Тимофеев Ю.В. Технология зубообработки крупногабаритных зубчатых венцов поверхностно-пластическим деформированием / Ю. В. Тимофеев, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, В. Ф. Шаповалов, В. И. Печень // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2011. – Вып. 29. – С. 124–130.

53. Тимофеев Ю.В. Научные предпосылки определения условий формирования величин упрочненного слоя при формообразовании крупномодульных зубчатых колес / Ю. В. Тимофеев, А. Н. Шелковой, А. А. Клочко // Вісник Національного технічного університету КПІ: зб. наук. пр. Тематичний випуск: Проблеми механічного приводу. – Київ: НТУУ КПІ, 2012. – № 64. – С. 288–293.

54. Тимофеев Ю.В. Научное обоснование технологических методов обеспечения эксплуатационных свойств закаленных крупномодульных зубчатых колес / Ю. В. Тимофеев, А. И. Волошин, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко, А. Н. Кравцов // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2012. – Вып. 30. – С. 194–204.

55. Тимофеев Ю.В. Основные направления технологического обеспечения производительности, параметров состояния поверхностного слоя и качества зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес / Ю. В. Тимофеев,

А. Н. Шелковой, А. А. Ключко, Е. В. Мироненко // Вісник Національного технічного університету ДПІ: зб. наук. пр. Тематичний випуск: Проблеми механічного приводу. – Донецьк: НТУ ДПІ, 2013. – № 10(205). – С. 131–140.

56. Albertini H. Gorla, C., Rosa, F. A new approach to repair large industrial gears damaged by surface degradation - The refurbishment using the modification of both the profile shift coefficient and the pressure angle, AGMA 2016 - Fall Technical Meeting, 2016, Номер статті 16FTM23, Eric C. Ames Repair of High-Value/ High-Demand spiral Bevel Gears by superfinishing, GEAR TECHNOLOGY, 2012, pp. 50-59.

57. Bian Y. Qin, L., Shi, L. Study on active anti-vibration control of largescale lifting gear. Zhendong Ceshi Yu Zhenduan/Journal of Vibration, Measurement and Diagnosis, Volume 26, Issue 1, March 2006, Pages 49-52.

58. Пономаренко И.В., Дьяченко С.С., Дощечкина И.В., Кондратенко И.И. Влияние различных методов поверхностного упрочнения на усталостную прочность // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2006. – Вып. 33. – С. 61–64.

59. № UA 88013 C2, C23C 10/34(2008.01), C21D 1/74, a200613015, 10.09.2009, Бюл.№17, 2009 р. «Спосіб цементації сталевих виробів та склад для його здійснення», автори: Спиридонова І. М., Мостовий В. І., Колюча В. Д., Федоренкова Л. І.

60. Позняк Е.Р. Влияние деформации гидропрессованием на кинетику процесса цементации, структуру и свойства стали 18ХГТ / Е. Р. Позняк, В. П. Горбатенко // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2011. – № 47. – С. 153-157.

61. Квон Св.С. Анализ процесса цементации стали 12ХН3А, применяемой при производстве зубчатых колес. Квон Св.С., Тулегенова Ш.Н., Малашкевичуте Е.И., Ким Д.С. // Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование-2007», (03-15 апреля 2007 г.). Том 12 – Днепропетровск, 2007. – С. 15-16.

62. Савченко С.А., Поздняков Е. П. Влияние режимов науглероживания на морфологию модифицированного слоя стали 18ХГТ // Весник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого», Республика Беларусь, С. 118-121.

63. Zheng Y., Chen Y., & Chen Z. R. (2013). Research and Development of Large-Scale Worm Gear Pair Tester Based on Time Grating Displacement Sensor. Applied Mechanics and Materials, 325-326, 730–733. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.325-326.730.

64. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд./ В.Г. Сорокин и др.: Науч. ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. - М.: Интермет Инжиниринг, 2003. - 608 с.

65. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. Суми : Сумський державний університет, 2012. 171 с.

66. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) [Текст] : навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. — Суми : СумДУ, 2020. — 163 с.

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

68. Електронний ресурс <http://www.tsatu.edu.ua/tm/wp-content/uploads/sites/14/tema-2-zubchasti-peredachi.pdf>

69. Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н. Технология упрочнения машиностроительных материалов: Учебное пособие-справочник / Под редакцией д.т.н., проф. В. Д. Евдокимова. – Одесса Николаев: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2005. – 352 с.

70. Серета Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів : монографія / Б. П. Серета, Н. Є. Калініна, І. В. Кругляк. – Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2004. – 230 с.

71. Говорун Т. П. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» /

укладачі Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. Суми: Сумський державний університет, 2011. 86 с.

72. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць. Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 212 с.

73. Будник, А. Ф. Обладнання термічних цехів та дільниць. Атлас конструкцій: навч. посіб. / А.Ф. Будник, А.О. Томас. – Суми: СумДУ, 2014. – 112 с.

СУМДУ

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Маршрутна технологія отримання деталі

№ операції	Назва операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовка вхідних матеріалів	1	Видбуток залізної руди та її збагачення	Гірничо видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання з нього коксу	Гірничо видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток вапняку та доломіту	Гірничо видобувний комплекс	-
		4	Видобуток пального газу, та його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Отримання чавуну	1	Підготовка шихти	Шихтовий двір	Магнітогей-ферні крани
		2	Підготовка палива	Енергетичний цех	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецьовування заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех, доменна піч	-

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
1.2	Отримання чавуну	4	Зливання рідкого чавуну та шлаку	Доменний цех, доменна піч	Шлаковози, ковші
		5	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери
1.3	Отримання сталі	1	Завантаження шихти, скрапу до конвертеру та заливання рідкого чавуну	Конверторна піч, мікшер	Мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку	Конверторна піч	Ковші, шлаковози
		4	Завантаження шихтових матеріалів, скрапу до печі	Індукційна піч	Мульди, ковші
		5	Завантаження флюсу та легуючих елементів, рафінування сталі	Індукційна піч	Завальні машини
		6	Безперервне лиття	Установка для безперервного лиття	
Етап 2. Отримання заготовки					
2.1	Отримання заготовки	1	Прокатка, отримання простого круглого профілю	Прокатний стан	-
		2	Нарізання на мірні заготовки	Механічна або дискова пила	
		3	Кування на круг у вирізних бойках	Пневматичний молот	Бойки, маніпулятор

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
2.1	Отримання заготовки	4	Осадження поковки	Пневматичний молот	Бойки, маніпулятор
		5	Гаряче об'ємне штампування	Пневматичний штампувальний молот	Штамп
Етап 3. Попередня термічна обробка					
3.1	Вхідний контроль якості	1	Ультразвукова дефектоскопія, візуальний огляд на тріщини	Ультразвуковий дефектоскоп	Стіл ВТК
3.2	Попередня термообробка для зняття внутрішніх напружень, підготовка структури для подальшої механічної обробки	1	Нормалізація	Термічна дільниця	Шахтна піч СШЗ-10.20/10
	Контроль твердості	2	Вимірювання твердості	Твердомір ТК-2	Індентор (загартована куля)
Етап 4. Механічна обробка					
4.1	Токарна	1	Обробка торцевої поверхні та формування 10 отворів $\varnothing 20$ мм і внутрішнього отвору $\varnothing 100$ мм розточуванням	Токарно-гвинторізний верстат 1М63; координатно-розточний верстат 2Е440А	Різець підрізний і розточний
	Довбальна	2	Довбання шпонкового пазу	Довбальний верстат 7Д430	Довбальний різець

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
4.1	Токарна	3	Обробка поверхні для нарізування зубів під \varnothing 370 мм	Токарно-гвинторізний верстат 1М63	Різець підрізний
	Токарна	4	Торцювання заготовки в розмір	Токарно-гвинторізний верстат 1М63	Різець підрізний
4.2	Зубофрезерна	1	Нарізування зубів на зубчатому колесі	Зубофрезерний верстат 5К324 А	Модульна фреза
4.3	Контрольна	1	Контроль розмірів деталі і якості обробки поверхонь	Механічний цех	Контрольний стіл, вимірювальний інструмент, приспособи
Етап 5. Зміцнювальна термічна обробка					
5.1	Об'ємна термічна обробка	1	Цементация і гартування із підстужуванням із цементацийного нагріву	Термічна дільниця	Шахтна піч СШЦМ-10.20/10, гартувальний бак
		2	Контроль мікроструктури і глибини нітроцементованого шару	МИМ 7, ПМТ-3	Зразки свідки
		3	Низький відпуск	Термічна дільниця	Шахтна піч СШО 10.20/6-
5.2	Контроль твердості	1	Вимірювання твердості за методом Роквелла (шкала HRC)	Твердомір ТК-2	Алмазний конус
Етап 6. Фінішна механічна обробка					
6.1	Шевінгувальна	1	Обробка зубів	Шевінгувальний верстат 5А703	-

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
6.2	Кругло - шліфувальна	1	Шліфування зубів	Круглошліфува льний верстат	Абразивні шліфу-вальні крути
Етап 7. Вихідний контроль					
7.1	Вихідний контроль та клеймування виробу	1	Контроль якості: контролювати геометричні розміри	Дільниця контролю	Контрольний стіл, контрольно- вимірювальні інструменти та приспособи
		2	Контролювати властивості (твердість), магнітно-порошкова дефектоскопія	Дільниця контролю	Твердомір, мікротвер- домір

CHANDY