

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Розробка технологічного процесу підвищення терміну роботи
конічної шестерні»

Виконав: студент 2 курсу, групи ІФ-412м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма

«Відновлення та підвищення
зносостійкості деталей і конструкцій»

Бойко І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н, доц. Савонов Ю.М.

(прізвище та ініціали)

22.12.2023

Рецензент к.т.н, доц. Климів О.В.

(прізвище та ініціали)

2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний факультет
Кафедра Кафедра інтегрованих технологій зварювання та моделювання
конструкцій

Ступінь вищої освіти _____

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і найменування)

Освітня програма «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і
конструкцій»

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій КАПЧУСЬКО

« 15 » грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА(КИ)

Бойко Ірина

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту “Розробка технологічного процесу підвищення терміну
роботи конічної шестерні”

керівник проєкту К.т.н., доц. Савонов Ю.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «15» грудня 2023р. № 509

2. Строк подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту конічне зубчате колесо з модулем $m=4$, виготовлене з
легованої сталі 18X2H4МА.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристики деталі 2. Характеристика умов експлуатації конічного колеса
циліндро-конічного редуктора 3. Методи покращення властивостей зубчатих колес 4
Дослідження технологічних особливостей зварювання та паяння 5. Розробка технологічного
процесу зварювання та паяння направляючого апарату Охорона праці та техніка безпеки при
виконанні зварювально-паяльних робіт 7. Цивільний захист населення 8. Техніко-економічна
оцінка ефективності пропонованої технології

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

1. Циліндро-конічний редуктор Р19СК-Б 2. Конічне зубчате колесо 3. Причини руйнування
зубчати передач 4. Графік спрацювання деталей редуктора та фрикційна взаємодія 5.
Циклограма ТО заготовки зубчатого колеса 6. Циклограма планування зубчатого колеса 7.
Режим ТО (відпал) зубчатого колеса 8. Режим остаточної ТО (гартування, відпуск) зубчатого
колеса 9. Техніко-економічний ефект пропонованої технології.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Савонов Ю.М., к.т.н., доц.	03.09.23	10.09.23
2	Савонов Ю.М., к.т.н., доц.	10.09.23	15.10.23
3	Савонов Ю.М., к.т.н., доц.	16.10.23	30.10.23
4	Савонов Ю.М., к.т.н., доц.	02.11.23	11.10.23
5	Савонов Ю.М., к.т.н., доц.	12.10.23	20.11.23
Нормоконтр. Охор. праці	Кормієнко О.Б. ст. викладач Нестерів О.В.		доц. 21.12.23

7. Дата видачі завдання «16» жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Характеристика деталі	10.09.23	виконала
2	Характеристика умов експлуатації конічного колеса циліндро-конічного редуктора	15.10.23	виконала
3	Методи покращення властивостей зубчатих колес	30.10.23	виконала
4	Розробка технології підвищення ресурсу роботи зубчатого колеса шляхом ціанування та наступної ТО	11.10.23	виконала
5	Охорона праці та безпеки при виконанні хто зубчатого колеса.	30.11.23	виконала
6	Техніко-економічна оцінка ефективності пропонуваної технології.	06.12.23	виконала
7			
8			

Студент(ка)


(підпис)

Бойко І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту


(підпис)

К.т.н., доц. Савонов Ю.М.
(прізвище та ініціали)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

HRC – твердість по Роквелу

HB – твердість по Брінелю

ТО – термічна обробка

СВЧ – струм високої частоти

ХТО – хіміко-термічна обробка

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з 82 с., 21 рис., 10 табл., 17 джерел.
КОНІЧНЕ ЗУБЧАТЕ КОЛЕСО, ХТО, ЦІАНУВАННЯ, ІНДУКЦІЙНЕ
ГАРТУВАННЯ, СТАЛЬ 18Х2Н4МА

Об'єкт дослідження – конічне зубчате колесо з модулем $m=4$, виготовлене з легованої сталі 18Х2Н4МА.

Мета роботи – розробити та вдосконалити технологію виготовлення зубчатого колеса шляхом заміни базової технології на ціанування з подальшою ТО для підвищення його ресурсу експлуатації.

Метод дослідження - аналіз літературних даних, виконання експериментальних досліджень характеристик деталі з дотриманням розробленої технології. Порівняльний аналіз базової та розробленої технології.

ABSTRACT

The master's thesis consists of 82 p., 21 figures, 10 tables, 17 sources.

**CONICAL GEAR WHEEL, CYANIDATION, INDUCTION HARDENING,
STEEL 18X2N4MA**

The object of the study is a conical gear wheel with a module of $m=4$, made of alloyed steel 18X2N4MA. The aim of the work is to develop and improve the manufacturing technology of the gear wheel by replacing the basic technology with cyanidation followed by heat treatment to enhance its operational lifespan. Research method - analysis of literature, conducting experimental studies of the characteristics of the part while adhering to the developed technology. Comparative analysis of the basic and developed technologies.

ЗМІСТ

Реферат.....	5
Вступ.....	9
1 Характеристика деталі.....	11
1.1 Особливості циліндро-конічних редукторів.....	11
1.2 Характеристика конічних зубчатих колес та їх застосування....	13
1.3 Вимоги до матеріалу деталі.....	16
2 Характеристика умов експлуатації конічного колеса циліндро- конічного редуктора	19
2.1 Різновиди пошкоджень зубів в передачах зубчастого типу.....	19
2.2 Фактори фрикційної взаємодії та причини відмов роботи редукторів.....	23
3 Методи покращення властивостей зубчастих колес	28
3.1 Технологія СВЧ-гартування.....	28
3.2 Різниця між високочастотним загартуванням і середньочастотним загартуванням.....	34
3.3 Установка для закалювання зубчатих колес.....	35
3.4 Переваги та недоліки індукційного загартування.....	37
3.5 Запропоновані технологічні рішення: цементация та ціанування з подальшою ТО.....	38
3.5.1 Технологія цементации поверхонь деталей.....	38
3.5.2 Технологія ціанування поверхонь деталей.....	42
4. Розробка технології підвищення ресурсу роботи зубчастого колеса шляхом ціанування та наступної ТО	43
4.1 Характеристика матеріалу зубчатого колеса.....	43
4.2 Загальні вимоги щодо підготовки деталей до ціанування.....	44
4.3 Технологія ціанування зубчатого колеса.....	46
4.4 Параметри СВЧ гартування.....	50

4.5	Контроль якості ХТО конічного зубчатого колеса.....	54
5.	Охорона праці та безпеки при виконанні ХТО зубчастого колеса ...	57
5.1	Аналіз потенційних небезпек при виготовленні конічного зубчатого колеса.....	57
5.2	Заходи безпеки під час виконання робіт з ХТО.....	59
5.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці...	66
5.4	Заходи з пожежної безпеки.....	67
5.5	Заходи від впливу магнітних полів.....	68
5.6	Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	69
6.	Техніко-економічна оцінка ефективності пропонованої технології.....	73
	Висновок.....	75
	Перелік джерел посилання.....	76
	ДОДАТОК А Електрична камерна пічН30.....	78
	ДОДАТОК Б Установка для загартування зубів зубчатих колес	80
	

ВСТУП

Редуктори представляють собою важливу складову сучасного обладнання. Редуктор – це механізм, який містить в собі передачі, призначений для збільшення обертового моменту та зменшення кутової швидкості двигуна. Вони широко використовуються в різних галузях машинобудування завдяки своїм високим економічним та споживчим характеристикам і іншим перевагам. У корпусі редуктора розміщені зубчасті або черв'ячні передачі, які закріплені на валах. Вони підтримуються підшипниками, які розміщені в гніздах корпусу. Встановлення передачі в окремому корпусі забезпечує точність складання, поліпшує змащування, збільшує ККД, зменшує знос, а також захищає їх від пилу і бруду. В усіх важливих випадках використовують редуктори замість окремих передач. Редуктори знайшли широке застосування. Головною функцією редуктора є зниження кутової швидкості та, відповідно, збільшення обертового моменту ведучого вала порівняно з веденим [1].

У даній роботі розглядається конічне зубчасте колесо циліндричного двоступінчастого редуктора горизонтальний типу, який застосовується в механізмах вантажо-підіймальних машин, а також може бути використаний для приводу інших машин в діапазоні передавальних чисел від 8 до 50 в повторно-короткочасних режимах навантаження.

Важливими у сучасних умовах є питання покращення надійності та тривалості машин, пристроїв і установок, а також підвищення їх якості та ефективності роботи, зниження витрат металів, боротьба з корозією і зношуванням деталей машин. Зазвичай, поверхневі шари деталей піддаються сильному механічному, тепловому, хімічному та іншому впливу [1]. Втрата працездатності виробу, як от вал-шестерня, відбувається через зношування, ерозію, ушкодження зубів і інші фактори, що може спричинити відмову машини чи механізму в цілому. Вал-шестерня діє під впливом радіального змінного навантаження, осьового навантаження, крутного моменту, і вона відповідає за

підтримку обертових деталей та передачу обертового моменту з одного вала на інший. Головним критерієм її працездатності є контактна витривалість, витривалість при згині, стійкість до зношування і заїдання. Різні умови роботи вала-шестерні потребують використання різних матеріалів для їх виготовлення. Найважливішими властивостями матеріалу є твердість і міцність. Зазвичай ці властивості отримують в результаті термічної обробки. Правильне проведення термічної обробки деталі має велике значення для її експлуатації. Покращення властивостей поверхні можна досягти різними способами: застосуванням нового матеріалу на поверхні з потрібними властивостями або зміною складу поверхневого шару металу. В другому випадку поверхневі шари металу піддають хіміко-термічній обробці (ХТО), в результаті чого на поверхні виробу утворюється новий сплав, що відрізняється від серцевини. Використання методів ХТО дозволяє отримати в поверхневому шарі виробу сплав практично будь-яких властивостей [2].

Отже, проблема вибору матеріалу, створення маршруту виготовлення заготовки та застосування термічної та хіміко-термічної обробки для деталі кіничне зубчасте колесо редуктора є дуже важливою.

Основною метою цього дослідження є визначення впливу вибору матеріалу, маршруту виготовлення, термічної та хіміко-термічної обробки на структуру, фазовий склад та механічні властивості сталі для виготовлення кіничної шестірні редуктора.

Серед основних завдань дослідження є аналіз наукових джерел (наукових статей, тез, підручників, патентів) з метою визначення нових рішень для вибору матеріалу, технології виготовлення та термічної обробки вала-шестірні. Також має бути запропоновано власне рішення для поліпшення надійності та експлуатаційних характеристик кіничного зубчастого колеса.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТАЛІ

1.1 Особливості циліндро-конічних редукторів

Редуктори широко застосовуються в різних сферах промислового та сільськогосподарського господарства. Щороку виробництво редукторів зростає, і на ринку з'являються нові варіації цих пристроїв, а також вдосконалюються наявні моделі. Основна функція редуктора полягає в зниженні обертової швидкості вхідного вала та одночасному збільшенні вихідного моменту [3].

Редуктори мають широке застосування в галузі машинобудування. Вони дозволяють передавати значні потужності, при цьому досягаючи ефективності близько 95 %.

Для влаштування потужних агрегатів застосовується циліндро-конічний мотор-редуктор, який володіє необхідним запасом міцності і придатний для роботи в умовах великих навантажень. Його конструкція особливо підходить для використання в металургійній промисловості та інших галузях, де редуктор піддається значному навантаженню і експлуатація відбувається в умовах впливу зовнішніх факторів.

Ще однією характеристикою циліндро-конічних мотор-редукторів є ортогональне розташування валів, що дозволяє їх вбудовувати в кутові конструкції. Ця особливість дозволяє замінювати застарілі види передач на нові без необхідності перероблення станини пристрою і встановлення додаткових кріплень.

Переваги циліндро-конічних передач включають:

- висока опірність до підвищених температур та навантажень;
- гладкість ходу;
- безшумна робота;
- стійка працездатність при частих циклах запуску та зупинки.

Кожен редуктор має вхідний та вихідний вали, які з'єднуються з двигуном та робочою машиною за допомогою муфт або інших сполучних елементів. На рисунку 1.1 зображено циліндро-конічний редуктор.

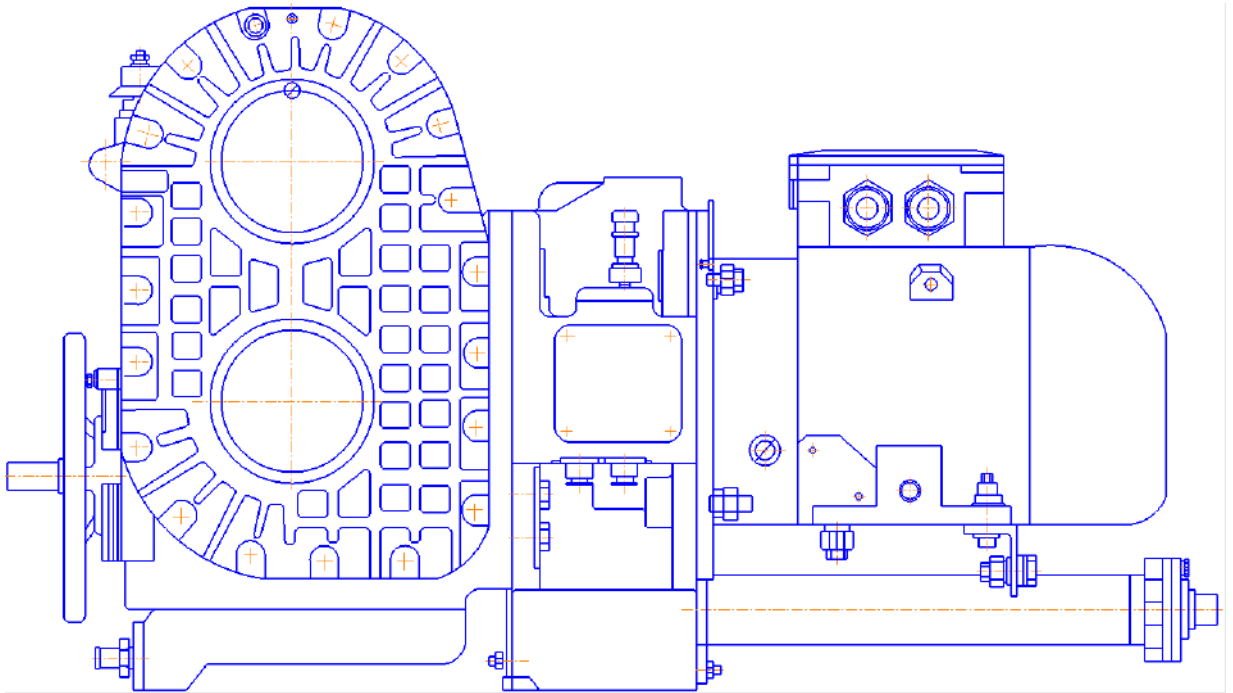


Рисунок 1.1 – Циліндро-конічний редуктор

1.2 Характеристика конічних зубчатих колес та їх застосування

Шестерня є однією з найміцніших та важливих деталей редуктора. Вона працює в умовах впливу радіального змінного концентрованого навантаження, осьового навантаження, крутного моменту, і використовується для підтримки обертових деталей та передачі моменту обертання з одного вала на інший.

Зубчасте колесо редуктора зображено на рисунку 1.2.

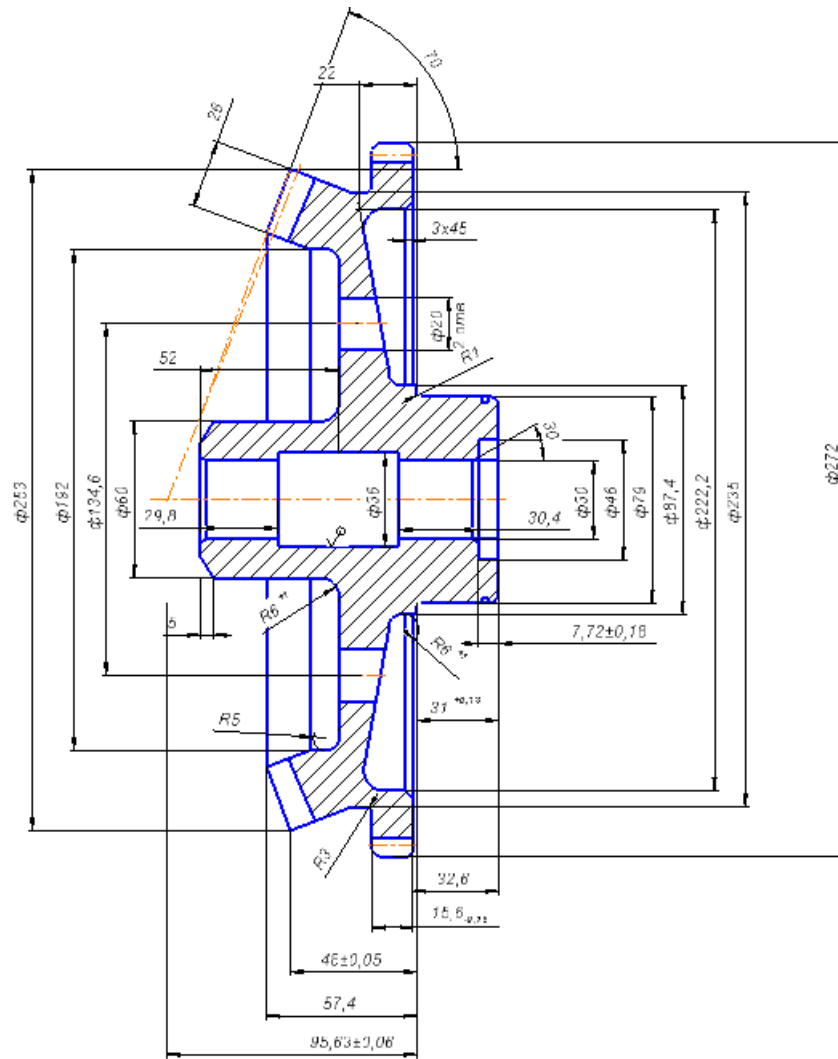


Рисунок 1.2 – Конічне зубчасте колесо

Конічні зубчасті передачі використовуються там, де осі валів перетинаються. Кут між осями валів може мати будь-яке значення, проте найбільш поширеними є передачі з міжосьовим кутом $\Sigma = 90^\circ$ і їх називають ортогональними. На рисунку 1.3 зображена стандартна конічна зубчата передача.

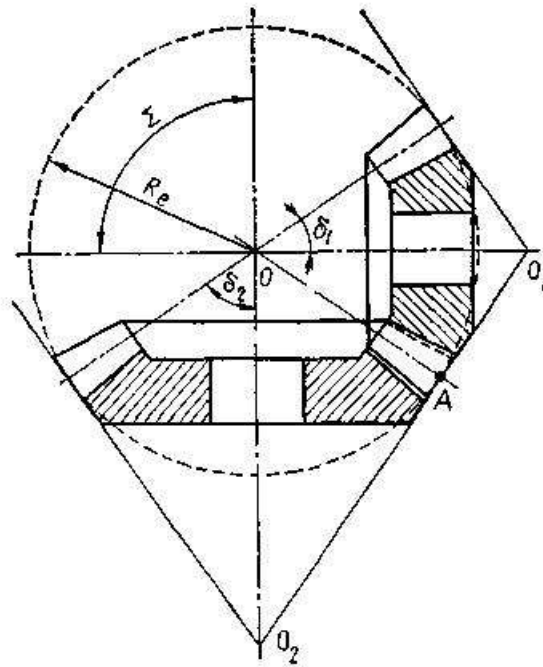


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд конічної зубчатої передачі

Переваги косозубої передачі порівняно з прямозубою включають:

- зменшення рівня шуму під час роботи;
- більш компактні габаритні розміри;
- високу плавність зачеплення;
- плавне входження косих зубів в зачеплення поступово;
- велику навантажувальну здатність та значно менше додаткових динамічних навантажень.

В косозубих колесах і валах-шестернях зубці розташовані під певним кутом $\beta = 12^\circ$. Осі деталей залишаються паралельними. Профіль косоного зуба в нормальному перетині $n-n$ співпадає з профілем прямого зуба. У торцевому перетині $t-t$ параметри косоного зуба змінюються в залежності від кута β .

При контакті зуба виникає сумарна сила тиску та тертя. Для кожного зуба напруження змінюються в часі відповідно до циклічного навантаження. Ці змінні навантаження можуть призвести до пошкодження зубів через втомленість матеріалу, такі як поломки або зношування робочих поверхонь. Тертя під час контакту спричиняє затискання та заїдання зубів. Поломка зубів може виникнути в результаті змінних навантажень при згині або перевантаженні. Це може

призвести до утворення тріщин поруч з основою зуба, де виникають найбільші розтягуючі напруження. Прямі короткі зуби можуть повністю виламуватися, а довгі, особливо косі, можуть ламатися похилою площиною. Щоб запобігти поломці від втоми матеріалу, застосовують розрахунок міцності за напругами згину σ_F (індекс F вказується для всіх параметрів, що пов'язані з напругами згину, які використовуються для основи зуба), коригування та підвищення точності виготовлення і монтажу.

Конічні передачі більш складні у виготовленні та монтажі порівняно з циліндричними. Для вирізання зубів конічних коліс необхідне використання спеціального обладнання. Необхідно враховувати допуски на розміри зубчастих вінців та допуски на кути Σ , δ_1 і δ_2 , а під час монтажу – вирівнювання вершин конусів з точкою перетину осей валів. Виготовлення конічної зубчастої передачі з однаковим ступенем точності суттєво ускладнене у порівнянні із циліндричною.

Унаслідок того, що осі валів перетинаються, виникають труднощі у розташуванні опор для валів конічної передачі. Зазвичай одне з конічних коліс розташовують консольно на валу, що призводить до нерівномірного розподілу навантаження по довжині зубців. Статистичні дані показують, що несуча здатність конічної зубчастої передачі значно менша порівняно з циліндричною при подібних розмірах і становить приблизно 85 %. Ефективність передачі конічної зубчастої передачі складає 0,95...0,96. Застосовують прямі, тангенціальні або кругові форми зубці при виготовленні конічних коліс

Основними недоліками зубчастих передач можна вважати наступні:

- поява шуму при великих швидкостях;
- збільшені вимоги до точності виготовлення;
- висока жорсткість, яка ускладнює компенсацію динамічних навантажень;
- неможливість безступінчастої зміни передаточного числа.

1.3 Вимоги до матеріалу деталі

При розрахунку зубчастих передач ключовими характеристиками міцності матеріалу є тимчасовий опір, межа плинності, межа витривалості, відносне подовження, ударна в'язкість та твердість. При виборі матеріалів та термічної обробки необхідно враховувати надійність, задану довговічність, мінімальну масу та габаритні розміри редукторів, а також вимоги технології та економії виготовлення. Проте, головні вимоги до виготовлення зубчатих колес можна спростити до двох ключових критеріїв – надійності та ефективності витрат.

У виробництві редукторів застосовуються такі матеріали, як сталь, чавун, бронза та латунь. Щоб зменшити масу та розміри редукторів, використовується широкий асортимент марок сталей і застосовуються різноманітні методи термічної обробки. Сталі, які використовуються для зубчастих коліс, що піддаються термообробці під час нарізування зубів, мають межу твердості від 250 до 330 одиниць за Брінелем. Верхня межа твердості визначається можливостями механічної обробки під час нарізування зубів. Варто враховувати глибину прожарюваності сталі, що має важливе значення для згинальної міцності зубів.

Механічні властивості сталевих поковок, розділені на категорії міцності за ДСТУ EN 10250-2 – 2008 [4], визначаються межею плинності та включають тимчасовий опір, відносне подовження, відносне звуження і ударну в'язкість, залежно від діаметра поковки, а також твердість за Брінелем. Для діаметрів до 200 мм під час загальної термообробки використовують марки сталей, такі як 35Х, 40Х, 45Х, 30ХГТ, 35ХГМ, 38ХМ, а для більших діаметрів - 40ХН, 30ХГСА, 38ХГН, 40ХН2МА, 38ХН3МА, які забезпечують глибшу прожарюваність та твердість в діапазоні від 260 до 331 одиниці за Брінелем. Литі марки сталі третьої групи (35Л, 40Л, 35ХМЛ, 35ХГСЛ) застосовують для виготовлення литих зубчастих коліс за ДСТУ 8781:2018 [5]. Поверхнєве зміцнення струмами високої частоти (ТВЧ) широко використовується для зубів і западини зубів коліс з

конструкційних сталей, при цьому спостерігається значна деформація зубів через нагрівання поверхні до високої температури. Щоб уникнути зниження точності зачеплення зубчастих коліс під час загартування ТВЧ без подальшого механічного оброблення, рекомендується обмежувати окружні швидкості на рівні не більше 8 м/с. Підвищення окружної швидкості може призвести до шуму, вищого за санітарні норми, до вібрації і зниження терміну роботи. При різкоударних навантаженнях можливе руйнування зубів, загартованих ТВЧ, тому рекомендується знижувати допустимі напруження за згинальною міцністю на 20...30 % порівняно з загальною термообробкою.

Вибраний матеріал зубатих коліс повинен забезпечити міцність зубів на вигин та стійкість поверхневих шарів зубів. Контактні напруження за формулою Герца при лінійному початковому контакті:

$$\sigma_H = Z_H \sqrt{\frac{q_n}{2\rho_{\text{пр}}}} \leq \sigma_{\text{HP}} \quad (1.1)$$

$$Z_H^2 \frac{q_n}{2 \cdot \rho_{\text{пр}}} \leq \sigma_{\text{HP}}^2 \quad (1.2)$$

$$\rho_{\text{пр}} = Z_H^2 \frac{q_n}{2 \cdot \sigma_{\text{HP}}^2} = \frac{q_n}{Z_m \cdot 2 \cdot \sigma_{\text{HP}}^2} \quad (1.3)$$

$$\rho_{\text{пр}} \sim \text{HB}^2 \quad (1.4)$$

$$\sigma_{\text{HP}} \sim \text{HB} \quad (1.5)$$

Допустимі контактні напруження в зубах пропорційні твердості матеріалу, а несуча здатність передач за контактною міцністю пропорційна квадрату твердості. Це вказує на доцільність застосування для зубчастих коліс сталей з великою твердістю.

Поверхнєве загартування підвищує зносостійкість і опір викришуванню, а за особливої технології підвищується міцність під час вигину в 1,5...2 рази.

Матеріал: сталь 40Х, 40ХН; HRC 50-55 (ТВЧ).

Цементация (поверхнєве насичення вуглецем) з подальшим загартуванням забезпечує більшу твердість і несучу здатність поверхневих шарів зубів і підвищує міцність зубів на вигин в 1,5...3 рази (після шевінгування) HRC 60...63. Шевінгування - зняття припуску шевером. При цьому підвищується точність, чистота, зменшується шум у колесах. Недоліком є викривлення зубів, що потребує шліфування. Матеріал: сталь 20Х, 12ХН3А, 18Х2Н4МА, 18ХГТ, 25ХГТ, 15ХФ, 20ХН2МА (цементация, шліфування).

Поліпшувані сталі - дрібносерійне та індивідуальне виробництво. Добре припрацьовуються, застосовують сталі: 40, 45, 50Г, 35ХГС, 40Х. HB 280-320 - для невеликих коліс і HB 200-240 - для великих.

Твердість шестерні зазвичай на 20-40 одиниць більша, ніж твердість коліс, для зменшення небезпеки заїдання і для зближення довговічності шестерні та колеса (кількість циклів шестерні в u разів більша, ніж колеса).

Сталеє лиття - сталі 40ХЛ, 30ХГСЛ, 50Г2Л - піддаються нормалізації.

Для тихохідних великогабаритних і відкритих передач застосовують чавуни (СЧ 21 і вище до СЧ 35), високоміцні чавуни - добре чинять опір заїданням, можуть працювати за поганого змащування (ВЧ50-7; тут 50 - допустима напруга під час розтягування в МПа, 7 - відносне подовження в %).

2 ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОНІЧНОГО КОЛЕСА ЦИЛІНДРО-КОНІЧНОГО РЕДУКТОРА

Найбільш критичними елементами редукторів є їх зубчасті механізми. При збільшенні часу експлуатації редуктора спостерігається накопичення пошкоджень його деталей, що проявляється різноманітними дефектами. Процес втомного руйнування деталей передуює наростанню пошкоджень, яке збільшується із зростанням часу функціонування редуктора [6].

Аналіз літературних джерел вказує на те, що пошкодження деталей редуктора не обмежується лише тривалою експлуатацією при постійних режимах, які перевищують навантаження, що корелюють з тривалою границею контактної витривалості зубів. Також вони виникають під час роботи в нестабільних (перехідних) режимах, пов'язаних із запуском двигуна та його переходом на робочий режим, а також внаслідок резонансів між деталями редуктора [7] під час стрибкоподібних перехідних режимів.

У механізмі редуктора зубчасті колеса піддаються двовісному розтягу внаслідок впливу динамічного навантаження [8] під час обертання.

2.1 Різновиди пошкоджень зубів в передачах зубчастого типу

Види руйнування зубців зубчастих передач включають наступні аспекти :

а) втомне викришування активних поверхонь зубців, що виникає через дію циклічнозмінних контактних напружень, сприяє виникненню втомних тріщин та викришуванню металу [6, 8].

На підставі результатів експериментальних досліджень встановлено, що при швидкостях ковзання у межах $1,0 \leq 0,1$ м/с коефіцієнт тертя досягає свого максимального значення, і, при цьому, фіксується мінімальний опір до

викришування. У зубчастих передачах при середніх і високих кутових швидкостях область із зазначеною величиною швидкості ковзання розташована на відстані від полюсної лінії, що становить множник в діапазоні від $(0,1 \dots 4) \cdot m$. Таким чином, викришування спочатку виникає на ніжках зубців, розташованих близько до полюсної лінії [9], що зображено на рисунку 2.1.

Щоб запобігти цьому, необхідно обмежити контактні напруження, підвищити твердість і забезпечити високу точність виготовлення та монтажу.

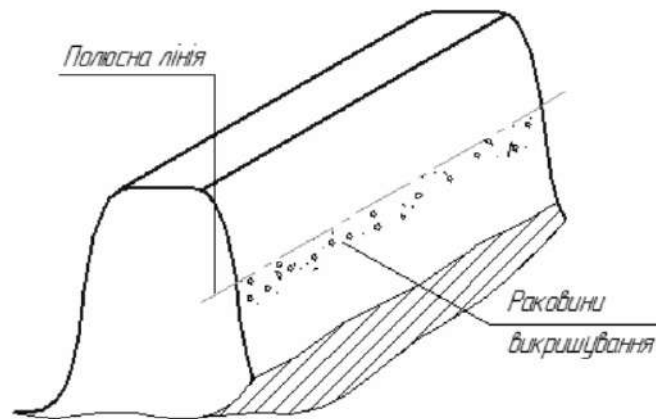


Рисунок 2.1 – Викришування на поверхні зубців

б) поломка зубців може бути зумовлена великими перевантаженнями, втомними поломками через дії змінних напружень згину, а також тріщинами у зонах переходу зубців у середину зубчатого колеса, що зображено на рисунку 2.2.

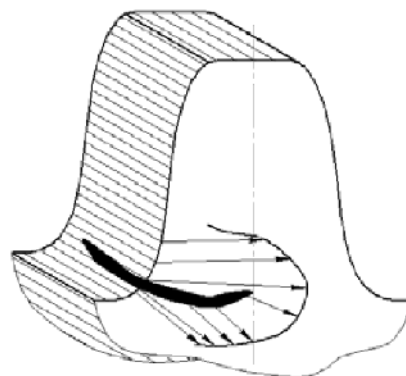


Рисунок 2.2 – Утворення втомної тріщини

Такі пошкодження часто відбуваються в чавунних колесах та вал-

шестірнях з високою твердістю зубів $HV > 350$. Щоб усунути проблеми зношування зубчастих передач, можна застосувати такі заходи: збільшення модуля, використання додатніх коефіцієнтів зміщення під час нарізування, зміцнення поверхонь у основі зуба, захист від перевантаження та підвищення точності виготовлення та монтажу.

г) відшарування поверхневих шарів зубців відбувається через періодичну дію глибинних контактних напружень, що спричиняє втомні тріщини під зміцненим шаром.

Для запобігання пошкодженням зубів зубчастих передач важливо забезпечити відповідну товщину шару та достатню міцність в серцевині зуба.

д) абразивне спрацювання зубців виникає внаслідок недостатнього змащування, що призводить до стирання активних поверхонь зубців через тиск, швидкість ковзання та абразивні частинки. Мінімальний знос виникає у полюсі зачеплення, де відсутнє ковзання між профілями. Нерівномірність зносу призводить до деформації евольвентного профілю зуба, що призводить до збільшення динамічних навантажень та ослаблення ніжок зуба, що зображено на рисунку 2.3.

Для запобігання пошкодженням зубів зубчастих передач важливо збільшити твердість поверхонь зубців, використовувати мастила та захищати від потрапляння абразивних частинок.

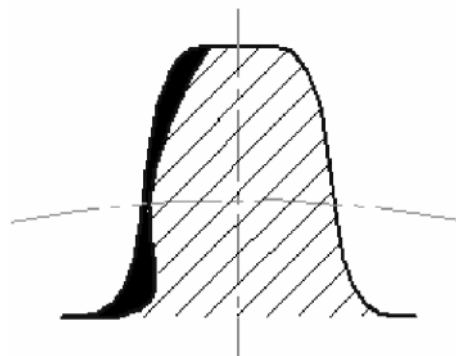


Рисунок 2.3 – Розподіл зносу по висоті зуба

е) деформація зубів у зоні контакту може бути зумовлена значним навантаженням при недостатній їх твердості. Пластичні деформації можуть

досягати високих значень, а сили тертя одночасно викликають великі переміщення часток поверхневих шарів у напрямі ковзання. Це призводить до утворення вдавлення на поверхні ведучих зубців вздовж полюсної лінії, як показано на рисунку 2.4, та утворення хребта на поверхні ведених зубців.

Для запобігання цьому варто збільшити твердість зубів.

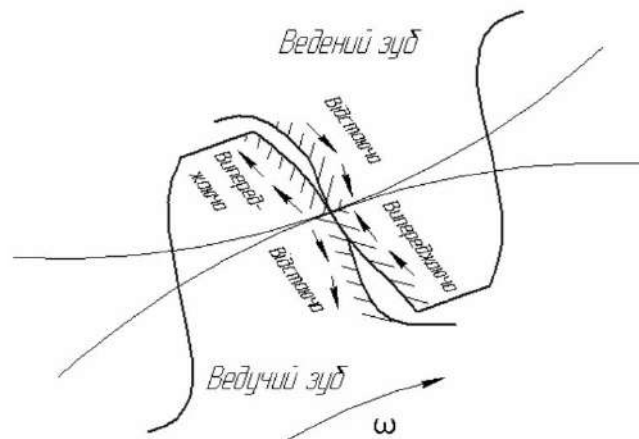


Рисунок 2.4 – Напрямки пластичні деформації робочих поверхонь зубів

є) заїдання зазвичай виникає в передачах, що піддаються великим навантаженням та високим швидкостям, внаслідок зростання температури у зоні контакту і критичному зменшенні в'язкості масла.

Поява викришування на робочих поверхнях кінематичних пар сприяє виникненню заїдання, оскільки це призводить до зменшення площі контакту і, внаслідок цього, до зростання напружень у зоні контакту. При цьому збільшуються сили тертя, оскільки мастило вижимается в утвореній ямці, яка виникла в результаті викришування, як зображено на рисунку 2.5.

Його можна уникнути за допомогою азотування, ціанування, зміни профілю та ефективного охолодження мастилом [6, 8].

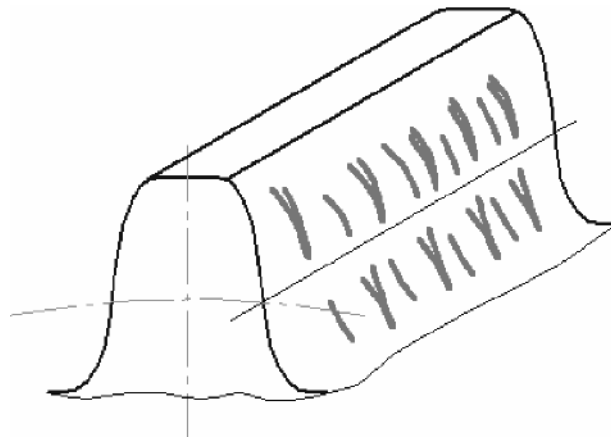


Рисунок 2.5 – Сліди заїдання на робочій поверхні зуба

2.2 Фактори фрикційної взаємодії та причини відмов роботи редукторів

Великі навантаження призводять до виникнення внутрішніх напружень у поверхневому шарі матеріалу спряжених деталей, які можуть виявлятися у формі розтягування, стискання, згину або кручення в чистому вигляді або в комбінаціях цих напружень. Так як максимальна концентрація напружень спостерігається в поверхневих шарах металу, втомна міцність залежить від механічних властивостей цих прошарків. Складність таких явищ показана на рисунку 2.6, який відображає основні фактори, що потрібно враховувати при аналізі фрикційної взаємодії у передачі.

Виявлення абразивного зношування у редукторах свідчить про можливе забруднення оливи або пошкодження ущільнень. Тому для зменшення зношування рекомендується використовувати фільтруючі елементи, які здатні утримувати частки розміром 3 мікрметри. Абразивне зношування, що виникає при взаємному взаємодії, стає можливим у випадку неправильного спряження зубів через невірне виготовлення або неправильне розташування зубчастих коліс передачі.

ГРАФІК СПРАЦЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРА

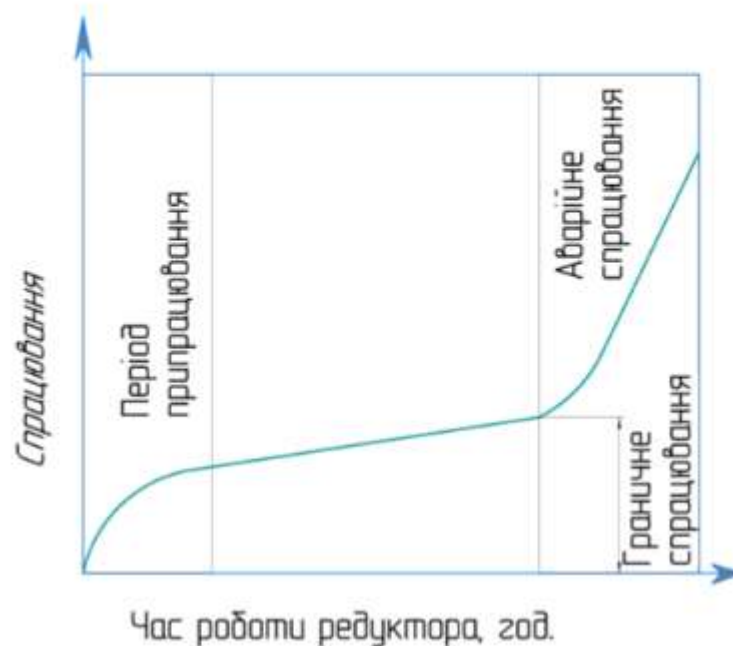


Рисунок 2.6– Схема основних факторів фрикційної взаємодії зубчастої передачі [10]

Під час передачі значних зусиль основною причиною є збільшення коефіцієнта тертя ковзання, що викликає значне підвищення температури в зоні контакту. Це призводить до пошкодження масляної плівки як в зоні контакту робочих поверхонь, так і в зоні чистого контакту. Нові шестерні виявляють більшу схильність до заїдання, порівняно із тими, які вже пройшли припрацювання при неповному навантаженні. Для запобігання заїданню під час періоду роботи під неповним навантаженням, зуби обмідненюють чи фосфатують.

Розвиток втомного викришування (зображеного на рисунку 2.6) може бути спричинений наявністю води або абразивних частинок у оливі, високою твердістю зміцненого шару та його збільшеною крихкістю, недостатньою товщиною шару та несуперечливою мікроструктурою.

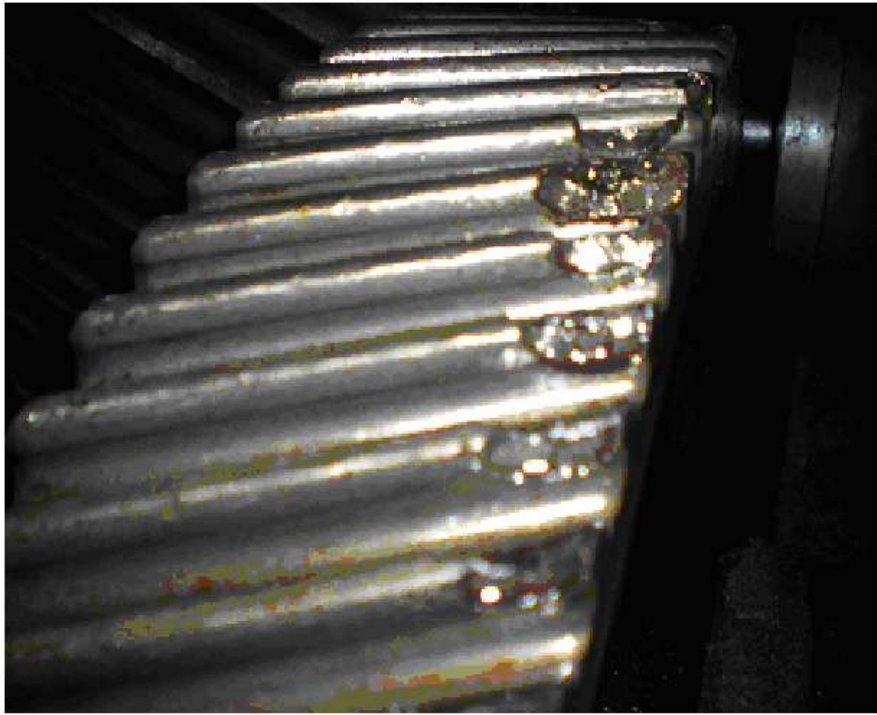


Рисунок 2.7 – Поверхнєвє втомнє викришування [10]

Наявність резонансних вібрацій найбільш характерна для пошкодження коліс конічних передач, особливо під час осьових коливань. Втомнє руйнування конічного колеса, як зазвичай, розпочинається вздовж обода в основі зуба, а потім тріщина розповсюджується в колесі з урахуванням його форми коливань. Втомнє руйнування конічного зубчастого колеса наведено на рисунку 2.8.

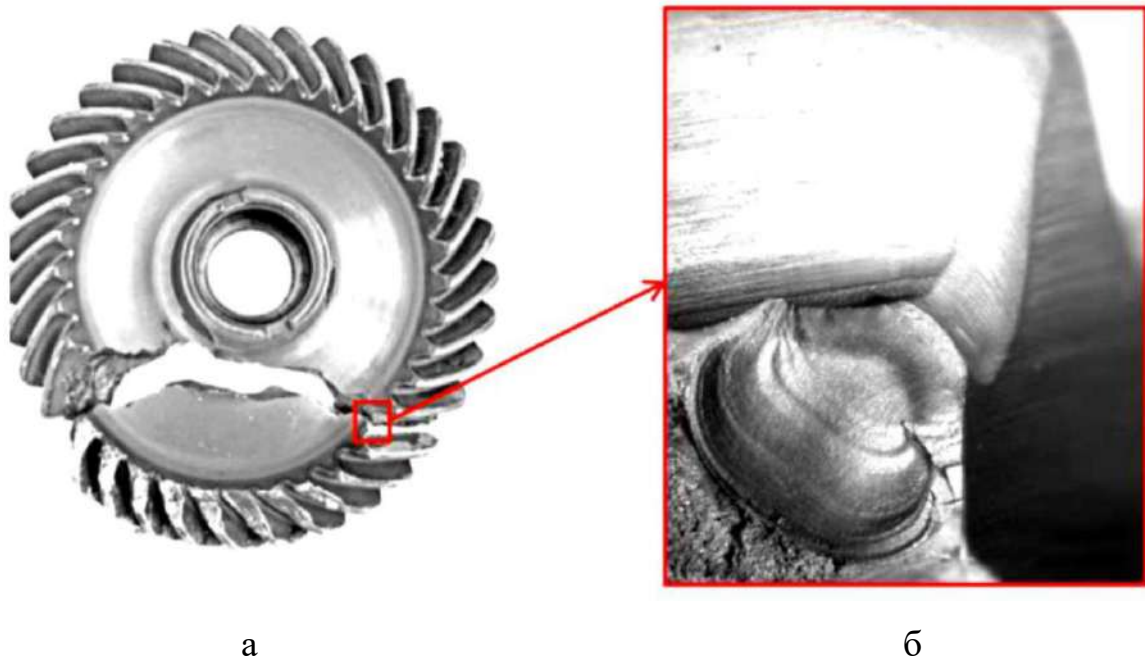


Рисунок 2.8 – Характерний вид втомного руйнування конічного зубчастого колеса (а) і місце зародження та розвитку втомної тріщини (б) [6]

Динаміка спрацювання зубчатої пари редуктора протягом часу проілюстрована на рисунку 2.9. Помітна величина спрацювання під час припрацювання пояснюється виправленням нерівностей на спряжених поверхнях до досягнення стабільної шорсткості і утворення стабільної площі контакту. Тривалість періоду природного спрацювання вагомо залежить від правильного проведення процесу припрацювання, а також від якісного технічного обслуговування протягом усього експлуатаційного періоду редуктора. Період природного спрацювання характеризується приблизно постійною швидкістю спрацювання. З іншого боку, період аварійного спрацювання відрізняється високою швидкістю спрацювання, оскільки збільшення зазору в спряженні призводить до ударних навантажень між деталями, викликаючи значну пластичну деформацію матеріалу.

ОСНОВНІ ФАКТОРИ ФРИКЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ



Рисунок 2.9 – Графік спрацювання деталей редуктора [11]

Якщо деталь досягла межі допустимого зношування, необхідно здійснити її заміну або відновлення, щоб уникнути виходу з ладу інших деталей та редуктора в цілому.

Основними видами руйнування зубчастих передач в процесі роботи є:

- втомне руйнування зубців – 24 % ;
- втомне викришування робочих поверхонь зубців – 20 % ;
- изношування зубців – 18 % ;
- задири та заїдання зубців, крайові сколи тощо – 23 % ;
- руйнування зубців від перевантаження – 15 %.

Отже, основними причинами виходу з ладу зубчастих передач є втомне руйнування, зношування і поломка зубців внаслідок перевантаження, що утворює 77% від загальної кількості випадків відмов.

3 МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗУБЧАТИХ КОЛЕС

3.1 Технологія СВЧ-гартування

Високочастотне загартування - це термічна обробка, яка передбачає нагрівання або охолодження лише необхідної ділянки деталі. Це також називається індукційним загартуванням.

Технологія ТВЧ-загартування полягає у тому, що під час проходження через провідник змінного струму створюється змінне електромагнітне поле навколо нього і коли деталь розміщується у такому полі, її поверхня нагрівається. Струм індукується за допомогою індуктора, який виготовлений з мідних трубок. Вода подається в індуктор для відведення тепла під час термічної обробки деталей, валків, шестерень зі сталей і чавунів, що також є охолоджувальною рідиною для самого виробу. За допомогою використання параметрів з ЧПК контролюється глибина зміцненого шару в процесі частотного нагріву. Цей метод є одним із поверхневих способів зміцнення металів.

Поверхнєве загартування деталей відрізняється від об'ємного загартування, при якому весь переріз деталі набуває однорідної, гетерогенної структури та підвищеної твердості на всьому перерізі. Застосовуючи поверхнєве зміцнення спосіб можна домогтися рівномірного твердого шару, не впливаючи на серцевину деталі, що сприяє поліпшенню механічних властивостей деталі. Загартування ТВЧ — це тип поверхневого термооброблення, подібний до плазмової термообробки.

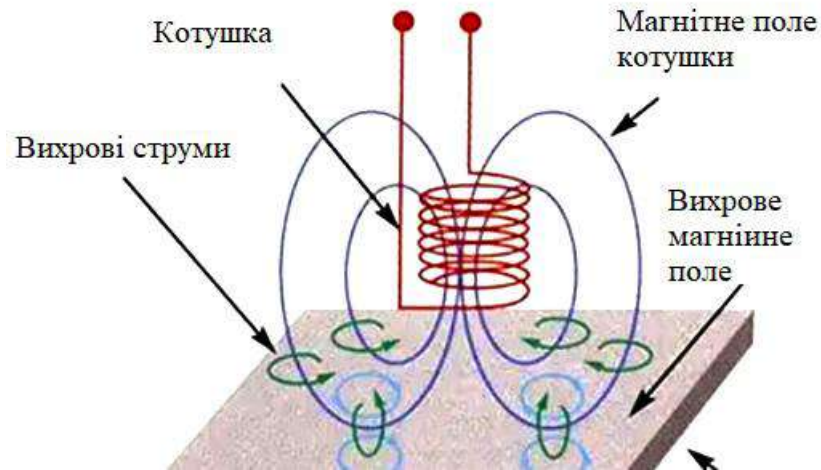


Рисунок 3.1 – Схема процесу СВЧ-загартування

Діапазон частот, що використовуються в цьому процесі, становить від 20 до 400 кГц, або від середніх до високих частот. В якості джерела коливань ми використовуємо вакуумну трубку, щоб обробляти повний спектр розмірів деталей, від негабаритних до прецизійних. Для деталей у форми валів роботи забезпечують одночасне загартування по чотирьох осях. Також можливо обробляти деталі, які є складними для виробничої лінії, наприклад, багатоступінчасті шківни з V-подібними канавками. Для охолодження можуть використовуватися як водний розчин, так і масляні охолоджувачі, що дозволяє обробляти також великі шестерні.

Загартування СВЧ є ефективною технологією для деталей, виготовлених із середньо- та високовуглецевої сталі: 40X, 20X13, 30X13, 35Л, 38ХГМ, 40ХН, 45, У8, 9Х1, 55Л, 5ХН та ін., для їх поверхневого зміцнення.

Приклади деталей, що піддаються ТВЧ загартуванню:

- термооброблення твердих зубчастих коліс (шевронні, циліндричні, конічні, зокрема з круговим зубом);
- термооброблення шківів;
- СВЧ шліцьових валів;
- СВЧ зміцнення вал-шестернів;
- загартування тюч валів і валків;

- плоскі деталі типу плит, кулачків, схоплень та ін.

Термооброблення СВЧ може здійснюватися на комплексах індукційного нагрівання (з мікропроцесорним програмованим модулем).

Для загартування зубчастих коліс і вінців великого діаметру використовується метод загартування за западиною, що передбачає загартування робочих поверхонь двох сусідніх зубів шляхом руху розміщеного в западині індуктора або індуктора-спреєра від низу до верху вздовж осі колеса.

Для загартування зубчастих коліс і шестерень діаметром до 200 мм з дрібним зубом (модуль менше 4) використовується метод скануючого загартування шестерні, що обертається, кільцевим індуктором-спреєром, який рухається від низу до верху вздовж осі шестерні.

Найскладнішим з технічного погляду є загартування проміжних за параметрами зубчастих коліс і вінців:

Для модуля в діапазоні від 4 до 10 практично неможливо проводити загартування за зубом, а загартування кільцевим охоплювальним індуктором має проводитися на двох частотах для забезпечення рівномірної глибини загартованого шару робочої поверхні зубів від вершини до кореня;

Для зубчастих коліс великого діаметру з модулем зуба менше 10 загартування кільцевим індуктором, що охоплює, вимагає великої потужності джерела живлення або ускладнення технологічного процесу завдяки нагріву та загартуванню секторів колеса.



Рисунок 3.2 - Загартування шестерні, що обертається, кільцевим індуктором-спреєром



Рисунок 3.3 - Загартування зубчатого колеса по впадині зубів

Індукційний нагрів струмами високої частоти (СВЧ) полягає у тепловому впливі струму, який індукується в деталі під впливом змінного магнітного поля. Процес ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. При пропусканні змінного електричного струму через замкнутий струмопровідний контур виникає змінне магнітне поле. При введенні іншого провідника в це змінне магнітне поле, в ньому індукується електричний струм такої ж частоти, що і в індукторі.

У промислових установках контур може бути у вигляді одного або кількох витків мідної порожнистої трубки або шини, відомих як індуктор. Для нагрівання масивних провідників деталь 1 поміщають у відповідний індуктор 2. Проходження електричного струму високої частоти через індуктор створює змінне магнітне поле, силові лінії 3 якого пронизують встановлену деталь в індукторі. Це призводить до утворення вихрових струмів (так званих струмів Фуко) в поверхневому шарі деталі, що призводить до його нагрівання без контакту до високих температур.

Поверхневий ефект викликає нерівномірний розподіл струму по перерізу виробу, зокрема зосередження струмів в поверхневому шарі. Це призводить до нерівномірного нагрівання, де поверхневі шари дуже швидко нагріваються, тоді як серцевина може залишатися ненагрітою або нагріватися лише за рахунок

теплопередачі від нагрітої поверхні.

Товщина загартованого шару, позначена у мм, визначається за допомогою формули:

$$y = 4460 \cdot 4\pi \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad (3.1)$$

де ρ - електричний опір одиниці довжини матеріалу, вимірюваний в омах на міліметр (Ом-мм);

f - магнітна проникність матеріалу, вимірювана в генрі на метр (Гн/м);

μ - частота струму, вимірювана в герцах (Гц).

Згідно з формулою, можна зробити висновок, що при збільшенні частоти струму товщина отриманого загартованого шару зменшується. Для отримання шару товщиною 1,0 мм оптимальна частота струму становить близько 60 000 Гц, для шару товщиною 2,0 мм - близько 15 000 Гц, для шару товщиною 4,0 мм - 4000 Гц. Частота струму залежить від типу високочастотного генератора. Півпровідникові (тиристорні) та машинні генератори забезпечують струм частотою 500...10 000 Гц, тоді як лампові генератори працюють з частотою 60...440 кГц. Особливістю індукційного нагріву під загартування є його висока швидкість, яка може досягати 100...1000 °С за секунду.

Поверхневі шари деталей після СВЧ-загартування отримують більшу твердість, ніж при звичайному загартуванні. Наприклад, твердість сталі з 0,4 %С після об'ємного загартування становить не більше 52...54 HRC, а після СВЧ-загартування – 56...58 HRC.

Процес охолодження під час СВЧ-загартування може здійснюватися за допомогою занурення деталі в охолоджувальну рідину в гартівному баці або обприскування охолоджувальною рідиною за допомогою спреєра. Зазвичай для охолодження використовують підігріту воду (30...40 °С) або емульсію.

Після процесу нагрівання ТВЧ, деталі піддають низькотемпературному відпуску за температур 160...200 °С, щоб зберегти високу твердість поверхні.

Загартування СВЧ застосовується для деталей, що виготовляються переважно з конструкційних середньовуглецевих сталей з вмістом 0,4...0,55 %

вуглецю. Випадки використання легованих, більш дорогих сталей, що володіють більшою прожарюваністю, є рідкісними, оскільки поверхнєве загартування не вимагає підвищеної прожарюваності.

Загартований шар зазвичай має глибину у межах 2...5 мм і характеризується високою твердістю. Серцевина, з феритно-перлітною структурою, забезпечує прийнятну ударну в'язкість. Перед загартуванням СВЧ можуть застосовуватись поліпшення (загартування і високотемпературний відпуск) для посилення серцевини за потреби.

Застосування загартування СВЧ особливо ефективно для виготовлення навантажених деталей, що працюють в умовах підвищеного зносу, динамічних і змінних навантажень (наприклад, зубчасті колеса, вали тощо). Загартування СВЧ збільшує межу витривалості в 2...2,5 рази, оскільки в поверхневому шарі виникають значні стискальні напруги, що зменшують небезпечні робочі розтягувальні напруги на поверхні деталі, які виникають під час експлуатації.

Загартування СВЧ може бути застосоване для циліндричних і плоских деталей за допомогою індукторів різної конструкції. Метод має свої переваги: висока продуктивність завдяки швидкості нагріву, можливість автоматизації процесу, яке є важливим у масовому і великосерійному виробництві, а також можливість місцевого нагріву. Основним недоліком є неможливість застосування для деталей складної конфігурації, а також висока вартість обладнання.

Типовий технологічний процес загартування СВЧ деталей:

- заготівельна операція;
- попередня механічна обробка;
- поліпшення (загартування + високий відпуск) - за необхідності;
- напівчистова механічна обробка (включно зі шліфуванням);
- загартування СВЧ (на глибину більшу, ніж у кресленні, з урахуванням припуску на шліфування);
- низький відпуск;
- фінішна обробка.

3.2 Різниця між високочастотним загартуванням і середньочастотним загартуванням

Високочастотне загартування загартованого шару неглибоке (1,5...2мм), висока твердість і важко окислюється, деформація невелика, гартування має хорошу якість, високу ефективність, підходить для роботи в умовах тертя деталей, таких як загальна менша шестерня, вал (матеріали для сталі 45, 40X); Проміжна частота гартування загартованого шару глибокого (3...5 мм), застосовується для скручування, під навантаженням тиску деталей, таких як колінчастий вал, колесо, шліфувальний шпиндель (матеріали для сталі 45, 40X, 9Г2Ф і пластичні для високочастотного гартування, поверхнєве загартування за короткий проміжок часу.

Коефіцієнт напруги малої середньочастотної поверхні структури менший, ніж у високої частоти. Використовуючи високочастотний (або середньочастотний, частотний) індукційний струм, поверхня сталі швидко нагрівається, а потім негайно охолоджується. Його принцип полягає в наступному: коли в провіднику через котушку змінного струму певної частоти, котушка всередині і зовні буде створювати магнітне поле з однаковою частотою зв'язку, якщо заготовку помістити всередині котушки, деталь буде індукувати змінний струм, і буде нагріватися. Розподіл індуктивного струму в заготовці нерівномірний, а щільність струму найбільша на поверхні, що стає "поверхневим ефектом".

Глибина проникнення індукованого струму на поверхню заготовки залежить від частоти струму (Гц), чим вища частота, тим глибина проникнення струму менша, шар зміцнення тонший, тому можна вибирати різні частоти для досягнення різної глибини шару зміцнення. Відповідно до частоти струму, індукційне нагрівання можна розділити на: високочастотне нагрівання (20000...1000000 Гц), середньочастотне індукційне нагрівання (5000...10000 Гц) та індукційне нагрівання робочої частоти (50 Гц).

3.3 Установа для закалювання зубчатих колес

Індукційні установки служать для загартування великомодульних шестерень.

Загартування сталей струмами високої частоти (СВЧ) здійснюється для поверхневої термічної обробки, що дає змогу підвищити твердість поверхні деталі. Воно застосовується для деталей з вуглецевих і конструкційних сталей. Індукційне загартування СВЧ є економічним і технологічним способом зміцнення. Воно дає можливість загартувати як всю поверхню деталі, так і окремі її елементи або зони, які відчують основне навантаження виробу.

У машинобудуванні заведено мале зубчасте колесо називати шестернею, а велике іноді іменують колесом. Найважливіші параметри зубчастих коліс - модуль, висота зуба, крок, число зубів, діаметр окружності виступів. Індукційна установка з шестернею містить у собі:

- перетворювач;
- трансформатор вихідний;
- систему охолодження;
- виносний пульт керування.

Широкі функціональні та сервісні можливості установки засвідчують цифрова система керування і зручний пульт керування, блок силових пічних конденсаторів установки, вихідний трансформатор, трансформатор ВЧ та індуктор для охолодження технічної води від градирні.

Установка індукційна для СВЧ-загартування великомодульних шестерень (зубчастих коліс) забезпечує автоматичну термообробку робочої поверхні шестерні методом "западина за западиною". Установка застосовується для індукційного поверхневого загартування модуля від 8 мм і вище.

На індукційній установці обробляють зубчасті колеса, одержувана глибина загартованого шару становить приблизно 1,6 мм. ТВЧ з концентратором здійснюється поверхневе загартування зуба, серцевина зуба залишається

"сирою". Висока повторюваність якості загартованого шару досягається за рахунок автоматизації процесу і стабілізації струму індуктора. Автокомпенсація зміни зазору "деталь-індуктор" здійснюється струмом індуктора.

Одноритковий індуктор має велику механічну міцність, він налаштований на невелику діючу напругу 20-50 В і забезпечує протікання великого струму високої частоти 3-5 кА. Узгоджувальний трансформатор підключається через індуктори з індуктивністю 0,2-1,8 мкГн.

Одноритковий індуктор розігріває метал зуба колеса "настилом" високочастотного струму, нагрітий шар металу виходить із зони нагріву, інтенсивно охолоджується спреєром, водночас зберігає пластичність у глибині зуба, а поверхня зуба набуває необхідної міцності.

Для загартування зубчастих коліс великого діаметра використовується метод поверхневого загартування зуба шляхом переміщення індуктора в западині між робочими поверхнями двох сусідніх зубів. Індуктор нагрівається ТВЧ, а потім від спреєра від низу до верху переміщується вздовж зуба колеса.

Автоматизація процесу і стабілізація струму індуктора забезпечують повторюваність якості загартованого шару колеса.

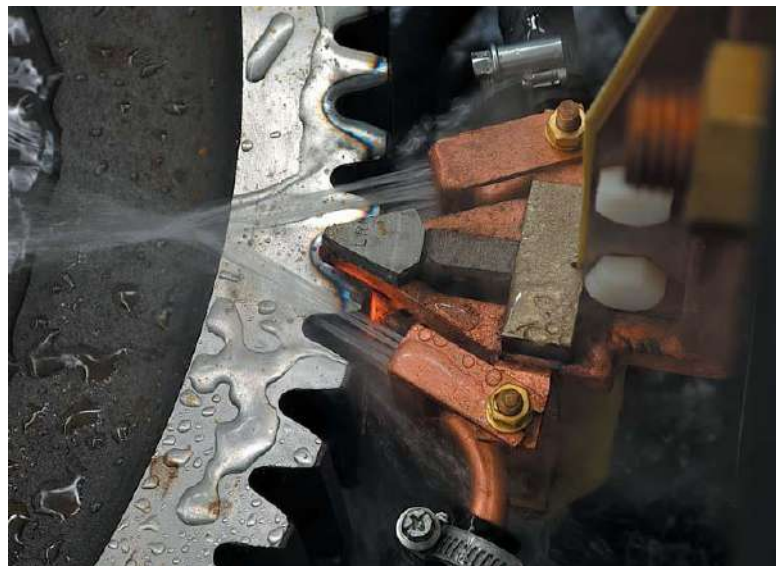


Рисунок 3.4 – Магнітний концентратор

3.4 Переваги та недоліки індукційного загартування

Метод дозволяє нагріти лише потрібну область (зубчасте колесо, окремий зуб, шлицеве з'єднання і т.д.). Таким чином, знижуються деформації деталей (короблення), що особливо важливо при термічній обробці деяких прецизійних шестерень (або деталей із точними розмірами і жорсткими допусками).

У цьому випадку індукційне закалювання значно переважає альтернативні методи зміцнення. Індукційне гартування дозволяє локалізувати нагрів у певних областях і зонах, включно з гартуванням окремих зубців, впадин, евольвент (що досягається за допомогою спеціальних індукторів).

Таким чином досягається тверда поверхня при в'язкому серцевині, яка поглинає удари і запобігає руйнуванню деталі. Шестерні, які пройшли наскрізне закалювання, піддаються руйнуванню навіть при роботі з невеликими ударними навантаженнями у зубчастому зачепленні.

Гартування індукцією має благотворний вплив на структуру елементів. У структурі утворюється дрібнозернистий мартенсит, який покращує робочі характеристики деталей.

Завдяки такій особливості метод дозволяє замінити матеріал шестерень на більш економні сталі при збереженні попередніх розрахункових характеристик. Однак слід відзначити, що не всі сталі мають винятково мартенситну структуру, деякі утворюють також аустеніт, від якого в певних випадках можна позбутися за допомогою обробки холодом.

Існуючі обмеження індукційного гартування пов'язані з тим, що за допомогою цього методу ефективно гартують прямозубі та косозубі шестерні. Колеса неправильної форми, що мають гіперболоїдну або невисиметричну форму, складно термообробити за допомогою високочастотного струму, оскільки важко забезпечити рівномірний нагрів у різних віддалених точках виробу.

3.5 Запропоновані технологічні рішення: цементация та ціанування з подальшою ТО

Для підвищення ресурсу зубчатого колеса пропонується застосувати гібридну обробку, яка включає цементацию та високочастотне загартування або газову нітроцементацию та високочастотне загартування. Для визначення найбільш ефективної технології проведено аналіз літературних джерел.

Процес ХТО відноситься до методів поверхневого насичення деталей різними елементами через дифузію з зовнішнього середовища. Товщина утвореного дифузійного шару залежить від різних факторів, зокрема температури, тривалості витримки та концентрації дифузійного елемента на поверхні. Швидкість дифузії і товщина шару збільшуються зі зростанням температури і тривалості процесу ХТО.

У промисловості широко використовують такі види ХТО, як цементация, азотування, нітроцементация (ціанування) та дифузійна металізація.

3.5.1 Технологія цементации поверхонь деталей

Цементация є процесом поверхневого насичення сталевих деталей вуглецем шляхом дифузії. Для проведення цементации використовують низьковуглецеві сталі з вмістом вуглецю до 0,25...0,3 %. Ці сталі, відомі як цементовані, належать до доевтектоїдних сталей і в рівноважному стані мають структуру, яка складається переважно з фериту і перліту. Механічні властивості цих сталей характеризуються низькою твердістю і міцністю, а високою пластичністю та ударною в'язкістю. Завдяки низькому вмісту вуглецю вони практично не піддаються процесу закалювання.

Цементацийний процес проводять у середовищах, які містять вуглець

(карбюризатори), при температурі 900...950 °С, що перебуває вище за точку Is_3 (у стійкій аустенітній області). Вибір такої температури обумовлений високою розчинністю вуглецю в аустеніті, що значно перевищує його розчинність у фериті. Зі збільшенням температури нагрівання збільшується кількість розчиненого вуглецю в аустеніті, але при цьому зростає розмір його зерен. Швидкість насичення становить близько 0,1 мм/год, тому для отримання цементованого шару товщиною 1 мм потрібно не менше 10 годин.

Використовують два методи цементації - тверду і газову. Тверда цементація здійснюється в карбюризаторі, що складається з активованого деревного вугілля (70%), порошоків $BaCO_3$ (25%) для прискорення процесу і $CaCO_3$ (5%) для запобігання спікання вугільних гранул. Деталі укладаються рядами у сталеві зварні або чавунні ящики (контейнери). Дно ящика і кожен ряд деталей покривають шаром карбюризатора. Ящик герметично закривають кришкою, щільно зашивають з'єднання вогнетривкою глиною і ставлять у піч. Вугілля деревного вугілля реагує з киснем повітря (присутнім у цементаційному ящику) і вуглекислим барієм, ($BaCO_3 + C \rightarrow BaO + 2CO$) утворюючи окис вуглецю CO , який дисоціює з атомарним вуглецем ($2CO \rightarrow CO_2 + C_{at}$) [12].

Утворений атомарний вуглець адсорбується на поверхні сталевих деталей і проникає вглиб, розчиняючись у аустеніті. Серед недоліків такого методу слід відзначити неможливість регулювання насичення поверхні деталей вуглецем, а також меншу швидкість цементації порівняно з газовою (в 2 рази), оскільки потрібен час для прогрівання контейнерів та сумішей. Тверда цементація використовується в умовах малосерійного та масового виробництва, відрізняється простотою виконання і не вимагає спеціального обладнання.

Отриманий атомарний вуглець адсорбується на поверхні сталевих деталей і проникає вглиб, розчиняючись у аустеніті. Серед недоліків такої технології слід зазначити неможливість регулювання насичення поверхні деталей вуглецем, а також меншу швидкість цементації порівняно з газовою (в 2 рази), оскільки потрібний час для прогрівання контейнерів та суміші. Тверда цементація використовується в умовах малих та серійних виробництва, відрізняється

простотою виконання і не потребує спеціального обладнання.

Газова цементация характерна для масштабного і серійного виробництва, вона здійснюється у середовищі газів, що містять вуглець. Найчастіше використовується карбюратор, що складається з суміші газів метану CH_4 (природного газу) і CO , під час дисоціації яких утворюється атомарний вуглець: $\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}_{\text{at}}$; $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}_{\text{at}}$.

Газова цементация дозволяє досягти заданої концентрації вуглецю в шарі, забезпечує механізацію та автоматизацію процесу. Цей процес займає менше часу.

Сам процес цементации сам по собі не забезпечує виконання головної мети - отримання високої твердості та зносостійкості поверхні деталей. Він лише створює оптимальний розподіл вуглецю по перетину деталі. Необхідне посилення поверхневого шару досягається за допомогою подальшої термічної обробки, яка складається зі загартування і низькотемпературної відпускну обробки (при температурі 160...180 °C).

Після цементации вміст вуглецю на поверхні становить приблизно 1%, тобто на поверхні утворюється структура сталі з доевтектоїдним вмістом. Проте, загартування виконується при більш високій температурі, ніж та, яка використовується для сталей з доевтектоїдним складом - 820...850 °C. Це призводить до подрібнення зерен не тільки цементованого шару, але й частково серцевини. На поверхні формується структура мартенситу з дрібнопластинчастою структурою, вторинного цементиту і залишкового аустеніту (5...8 %).

Цементации піддаються деталі, які працюють в умовах підвищеного зносу і динамічних навантажень (наприклад, зубчасті колеса, черв'яки, кулачки, розподільні валики і т.д.). Не обов'язково всю поверхню виробу піддають цементации. У такому випадку ділянки, які не підлягають цементации, захищають гальванічним омідненням або спеціальними покриттями.

Типовий технологічний процес виготовлення деталі за цим методом обробки та подальшою термообробкою наступний:

- заготівельна операція;
- попередня механічна обробка (включно зі шліфуванням);
- захист ділянок деталі, які не слід зміцнювати;
- цементация;
- загартування і низький відпуск;
- фінішна обробка (шліфування).

Після цементации та подальшої термічної обробки виникають деформації, тому проведення фінішної обробки обов'язкове. Типова товщина цементованого шару деталі становить 0,8...1,2 мм, тому під час цементации слід отримувати шар більшої товщини - 1,2...1,5 мм з урахуванням припуску на шліфування.

Нітроцементация і ціанування - це процеси поверхневого насичення сталевих виробів одночасно вуглецем і азотом за допомогою дифузії. Нітроцементация відбувається у газовому середовищі, тоді як ціанування проводиться у рідинному середовищі.

Нітроцементация здійснюється в середовищі, яке складається з газу, який сприяє утворенню вуглецю, та аміаку, при температурі 840...860 °C протягом 2...10 годин. Цей процес призводить до формування шару товщиною 0,2...0,8 мм (найбільш поширений), який містить від 0,7...0,9 % вуглецю до 0,3...0,4 % азоту. Після нітроцементации деталі піддаються термічній обробці, а саме загартуванню і низькотемпературній відпускній обробці. Твердість шару становить 58...62HRC.

Порівняно з газовою цементацией, нітроцементация має кілька переваг. Низькі температури процесу спричиняють менше збільшення аустенітного зерна та менші деформації. Зазвичай нітроцементации піддають деталі складної конфігурації (з меншими деформаціями), виготовлені з цементованих сталей. Нітроцементацию широко використовують в автомобільній та автотракторній промисловості.

3.5.2 Технологія ціанування поверхонь деталей

Ціанування є процесом насичення поверхневих шарів сталевих виробів вуглецем і азотом у розплавах солей, що містять ціан-групу (CN), такі як ціаністий натрій NaCN, жовту кров'яну сіль $K_4Fe(CN)_6$, та інші. Ціанування виконують шляхом занурення виробів у ванну із розплавом. Товщина утвореного шару залежить від температури та тривалості процесу і може бути високотемпературним, середньотемпературним або низькотемпературним.

При високотемпературному ціануванні, що відбувається при 930...950 °С, поверхневі шари насичуються більше вуглецем (до 0,8...1,2% С) та менше азотом (до 0,2...0,3 % N). Структура ціанурованого шару подібна до цементованого. У цьому випадку деталі охолоджують на повітрі, потім піддаються загартуванню та низькотемпературній відпускній обробці. Глибина зміцненого шару становить 0,5...2,0 мм, а тривалість процесу - 1,5...6 годин.

Середньотемпературне ціанування проводять при 820...860 °С протягом 30...90 хвилин, що дає шар невеликої глибини (0,15...0,35 мм) з 0,7 % вуглецю та 0,8...1,2 % азоту. Низькотемпературне ціанування, яке здійснюється при температурах 520...700 °С протягом 0,5...3 годин, призводить до утворення тонкого шару (6...20 мкм) вельми твердих карбонітридів $Fe_3(N,C)$. Ці процеси застосовують для зміцнення деталей, що піддаються зношуванню в умовах високого тиску, таких як втулки, зубчасті колеса, штоки клапанів автомобілів та інші інструменти [12].

Переваги ціанування включають меншу тривалість процесу, вищу зносостійкість зміцненого шару, менші деформації і можливість зміцнення лише частини деталей, занурених у ванну. Головний недолік полягає у високій токсичності і вартості ціаністих солей, що вимагає спеціальних умов проведення процесу і гарної вентиляції.

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ШЛЯХОМ ЦІАНУВАННЯ ТА НАСТУПНОЇ ТО

4.1 Характеристика матеріалу зубчатого колеса

Для виготовлення зубчатого колеса використовуємо констркційну, леговану сталь 18X2H4MA.

У цементованому і поліпшеному стані застосовується для відповідальних деталей, до яких висуваються вимоги високої міцності, в'язкості та зносостійкості, а також для деталей, що піддаються високим вібраційним і динамічним навантаженням. Сталь може застосовуватися за температури від -70 до +450 °С. Для неї не характерна відпускна крихкість.

В таблиці 4.1 наведено хімічний склад сталі 18X2H4MA, в таблиці 4.2 - фізичні властивості, в таблиці 4.3 - механічні властивості цієї сталі.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад сталі 18X2H4MA, % [13]

C	S	P	Ni	Mo	Cu	Ti	Si	Mn	Cr
0,12-0,2	<0,025	<0,025	4-4,4	0,3-0,4	<0,3	<0,06	0,17-0,37	0,25-0,55	1,35-1,65

Таблиця 4.2 – Фізичні властивості сталі 18X2H4MA [13]

Густина г/см ³ , (10 ³ кг/м ³)	Коефіцієнт теплопровідності при 25°-500°С, кал/см·с·°С (x418,68 Вт/м·°С)	Коефіцієнт лінійного розширення 20-100 °С·10 ⁶ , 1/°С
7,9	0,017	11,4

Таблиця 4.3 – Механічні властивості [13]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	НВ, МПа
1130	835	12	269

4.2 Загальні вимоги щодо підготовки деталей до ціанування

Ціанування в твердому середовищі дозволяється виконувати у будь-яких печах, що забезпечують необхідний рівень температури.

Під час ціанування кожної нової партії, у відпрацьовану суміш слід додавати 20...50 % нової суміші. Така суміш має бути ретельно перемішаною та просушеною.

В якості твердого середовища для ціанування рекомендується використовувати суміші, вказані у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Тверді суміші для ціанування

Склад середовища	Вагов кількість, %	Діапазон робочих температур, °С
Калій залізосинеродистий $K_3[Fe(CN)_6]$	15...20	550...800
Натрій вуглекислий (просушений)	3...5	
Вугілля деревне	75...82	
Калій залізосинеродистий $K_3[Fe(CN)_6]$	15...20	550...800
Вугілля деревне (березове)	80...85	
NaCN	8	850...900
BaCl ₂	82	
NaCl	10	

Поверхні деталей, що підлягають шліфуванню після науглецювання не повинні мати припуск більше 20 % глибини науглецьованого шару.

Внутрішні порожнини і отвори в деталях необхідно захищати від науглецювання шляхом засипання суміші кварцевого піску з окалиною (у співвідношенні 1:1) або суміші шамотного порошку з окалиною (у співвідношенні 1:2). Кінці отворів слід забивати азбестовими пробками.

Шорсткість деталей, що підлягають ХТО повинна бути в межах Ra 1,25...2,5.

Деталі призначені для ціанування, повинні бути упаковані в ящики із окалиностійкої листової сталі товщиною 4...6 мм.

В ящиках з карбюратором відстань між деталями, від стінок ящика і між шарами деталей, розділених шарами карбюратора повинна бути не менше ніж 20...25 мм. Відстань від дна ящика до першого ряду деталей і від кришки ящика до верхнього ряду деталей повинна бути не менш ніж 30...40 мм.

Склади обмазок, що застосовуються для захисту поверхні деталей від науглецювання наведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Склади обмазок для захисту поверхні деталей від науглецювання

Склад обмазки	Вагов кількість, %
Тальк	50
Глина формувальна	25
Вода	25
Скло натрієве рідке (розріджувач)	
Тальк	58
Оксид алюмінію	28
Сурик свинцевий	14
Скло натрієве рідке (розріджувач)	
Пісок кварцевий	41
Глина формувальна	43
Бура	10
Натрій азотнокислий	3
Оксид свинцю	3
Скло натрієве рідке (розріджувач)	

Верхній шар карбюратора слід накривати листом азбесту, а зазор між кришкою і ящиком обмазвати сумішшю формувальної глини з піском. Допускається використовувати ящики з пісочним затвором.

Відстань між ящиками в печі повинна бути не менш ніж 80...100 мм.

Деталі необхідно нагрівати в два етапи. Попередній нагрів до температури 780...800 °С з витримкою, необхідною для прогріву і остаточної до температури 910...950 °С.

Час витримки деталей в твердому середовищі для отримання вуглецево-азотованого шару 0,015...0,04 мм (твердість за Віккерсом складає 900...975) складає 1...3 год в залежності від товщини деталей.

Охолодження деталей після ціанування в твердому середовищі виконувати в ящиках на повітрі, а розпакування при температурі не більше ніж 100 °С.

4.3 Технологія ціанування зубчатого колеса

005 Відпал поковки

Виконати відпал заготовки зі сталі 18X2H4MA згідно з циклограмою, зображеною на рисунку 4.1.

Використовуючи для нагрівання піч Н-45.

010 Котрольна

Зачистити площадки розміром 20...40 мм для заміру мікротвердості.

Виконати замір мікротвердості твердоміром ТШ-2 та мікроскопом МПБ-2. Твердість має бути в межах 197...250 НВ.

015 Дробеструменева обробка

Виконати дробеструменеву обробку зготовки.

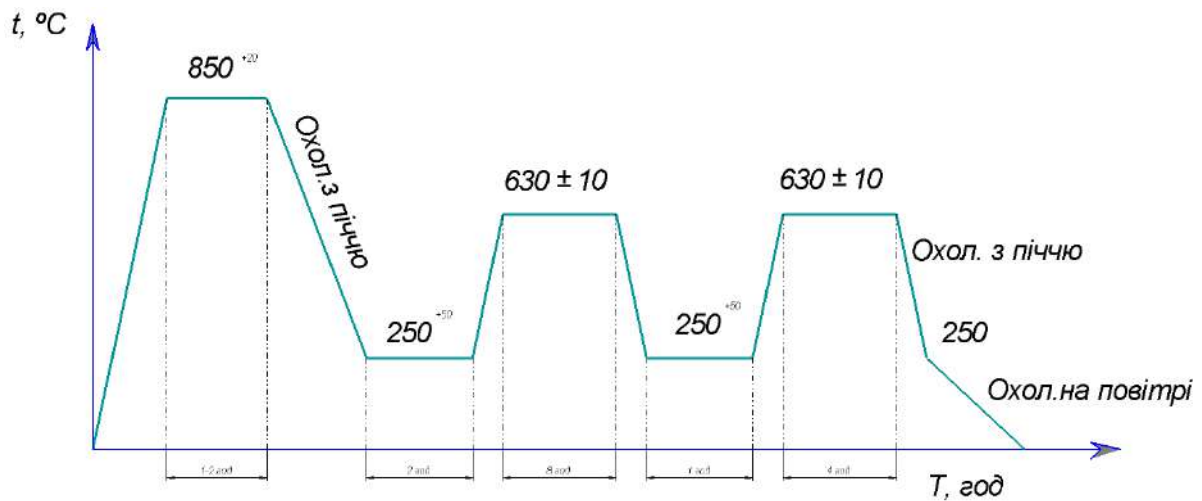


Рисунок 4.1 – Циклограма ТО заготовки зубчатого колеса зі сталі 18X2H4MA

020 Механічна обробка

Виконати необхідну механічну обробку згідно креслення, рисунок 1.2

025 Підготовча

Підготувати суміш карбюризатора згідно таблиці 4.4.

Завантажити деталі ящик.

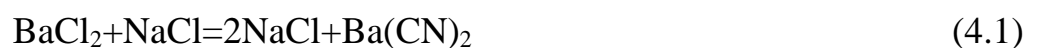
030 Завантажувальна

Помістити ящик на рольгагн та надалі в піч Н-30 за допомогою кран-балки.

035 Ціанування

Виконати ціанування згідно циклограмми, що зображена на рисунку 4.1, у розплаві солей складу, що наведений у таблиці 4.4.

При цьому відбуваються наступні реакції:



Атомарний вуглець та азот, що виділяються дифундують в поверхню сталі. При високоемпературному ціануванні сталь у більшій мірі насичується вуглецем до 0,8...1,2 %, і в меншій азотом 0,2...0,3 %.

040 Вивантажування

Вивантажити ящик з деталями на рольганг, далі – на підлогу, використовуючи кран-балку.

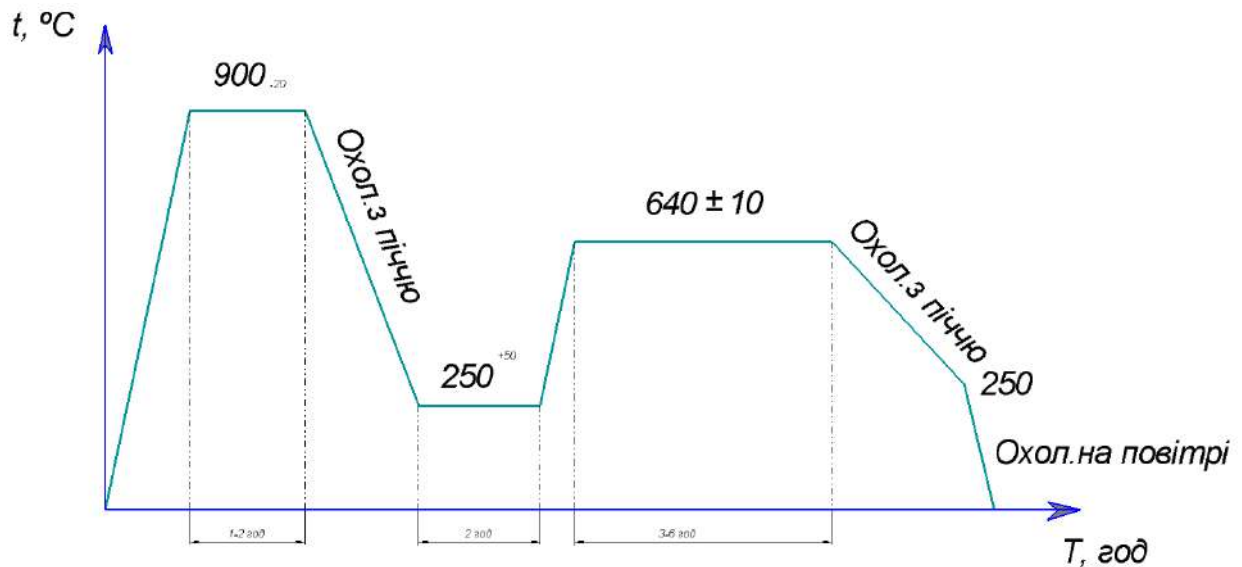


Рисунок 4.2 – Циклограма ціанування зубчатого колеса зі сталі 18X2H4MA

045 Контрольна

На зразку-свідку зачистити зону для аналізу на твердість, полірувати, травити.

Контролювати глибину ціанування, яка має складати $h=1 \dots 1,3$ мм.

050 Термообробка (відпал)

Виконати відпал зубчатого колеса в електропечі Н-30, згідно циклограми на рисунку 4.3. Число циклів визначити експериментально, до отримання твердості HB 255.

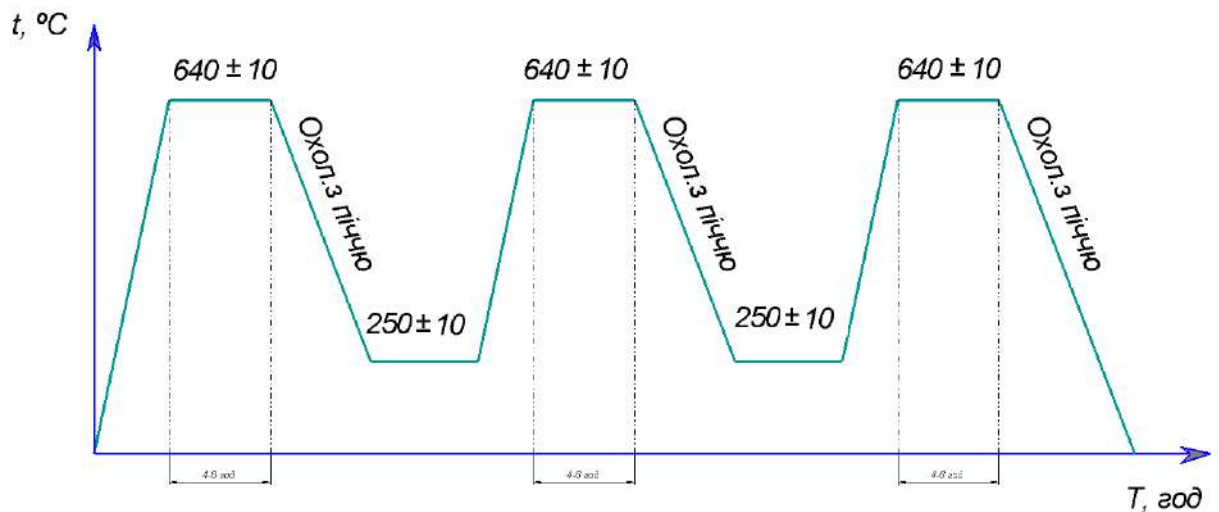


Рисунок 4.3 – Циклограма відпалу зубчатого колеса сталі 18Х2Н4МА

055 Контрольна

На зразку-свідку контролювати твердість, яка має складати більше НВ 255.

060 Термообробка (гартування)

Виконати СВЧ гартування конічної шестерні з температури 780^{+20} °С, витримка 45 хв. Охолодження виконувати у маслі.

065 Промивання

Промити деталі у баці з водним 2...3 % розчином СМ-1, протягом 20 хв., при температурі 75 °С.

070 Відпуск

Виконати відпуск в електропечі Н-30, при температурі 180^{+20} , протягом 3...3,5 год. Охолодження на повітрі.

Режими остаточної ТО (гартування, відпуск) зубчатого колеса сталі 18Х2Н4МА зображено на рисунку 4.4.

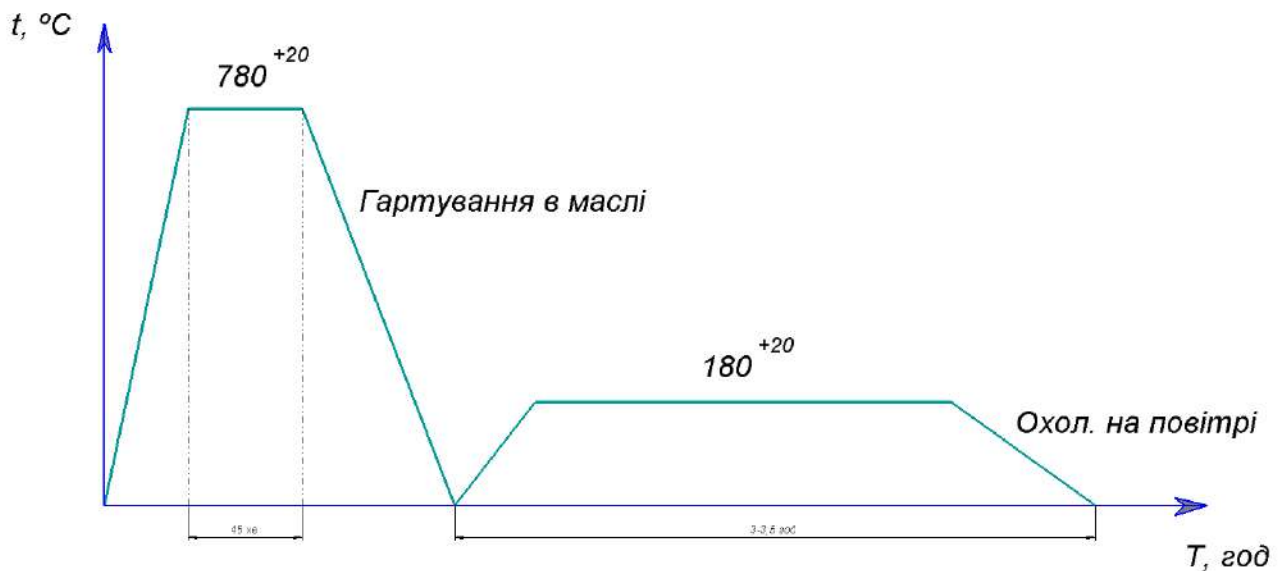


Рисунок 4.4 – Режими остаточної ТО (гартування, відпуск) зубчатого колеса сталі 18Х2Н4МА

075 Контрольна

Виконати контроль твердості, твердоміром ТК-2. Зубці повинні мати твердість 81...83 НРА, а серцевина 30...35 НРС.

4.4 Параметри СВЧ гартування

Під час індукційного поверхневого загартування проводять швидке нагрівання на задану глибину струмом, індукованим у поверхневому шарі деталі, з подальшим охолодженням. У результаті такого загартування виходить висока твердість поверхні за збереження в'язкості серцевини.

Основними параметрами, що характеризують високочастотне загартування, є:

- глибина загартованого шару;
- час нагрівання під загартування;
- температура загартування;

перегрів зовнішнього шару;

- швидкість нагріву;
- критична швидкість охолодження;
- термічний ККД.

Розрізняють два типи нагрівання: глибинний і поверхневий. При поверхневому типі нагріву тепло виділяється в тонкому шарі і глибше поширюється шляхом теплопровідності. Очевидно, що у всіх випадках індукційного поверхневого загартування потрібно прагнути до здійснення глибинного способу нагрівання.

Досвід впровадження цього методу поверхневого загартування дає змогу рекомендувати його:

1. У багатьох випадках замість цементації. Вартість термообробки при цьому знижується приблизно в п'ять разів. Скорочується загальний цикл термообробки до секунд замість годин. Леговані сталі замінюються на прості вуглецеві без погіршення механічних властивостей. Докорінно поліпшуються умови праці. Процес термообробки може бути автоматизований і включений в потік або автоматичні лінії.

2. У тих випадках, де за умовами роботи допускається місцеве загартування, цей метод дає змогу вести процес загартування з високим термічним к. д. і виключає необхідність захисту місць, що не підлягають загартуванню.

3. Для зміцнення поверхні деталей, термообробка яких звичайним способом неможлива або трудомістка (колінчасті вали, великі вали, шестерні тощо).

Зі збільшенням температури нагріву сталевих деталей відбувається зростання питомого опору ρ , яке після перевищення 1000°C досягає свого максимального значення.

Магнітна проникність в інтервалі від $600\dots 700^{\circ}\text{C}$ майже не залежить від температури, але при подальшому її підвищенні різко знижується і досягає мінімального значення, що дорівнює магнітній проникності вакууму ($\mu=1$).

Для практичних розрахунків глибину проникнення тока в метал визначають за спрощеними формулами. Для сталевих деталей при температурі 15°С розрахунок виконують за формулами:

$$\delta = \frac{30}{\sqrt{f}}, \text{ мм} \quad (4.4)$$

для температури 760°С:

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f}}, \text{ мм} \quad (4.5)$$

де δ - глибина проникнення тока, мм;

f - частота струму, Гц.

В таблиці 4.6 вказані залежності глибини проникнення струму у метал при різних частотах індуктора.

Таблиця 4.6 – Глибина проникнення струму у метал при різних частотах індуктора

Частота струму, Гц	Глибина проникнення струму, см	
	При $t=15^{\circ}\text{C}$, $P=2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $M=40 \text{ Гц/Е}$	При $t=800^{\circ}\text{C}$, $P=10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $M=1 \text{ Гц/Е}$
50	0,5	7
2500	0,067	1
10000	0,034	0,5
100000	0,011	0,16
1000000	0,0034	0,05

З наведених в таблиці 4.6 даних випливає, що зі збільшенням температури нагріву металу глибина проникнення струму зростає і досягає найбільшого значення при температурі втрати магнітних властивостей, тобто точці Кюрі.

Для більшості видів сталей магнітні перетворення відбуваються в інтервалі критичних температур 765...780°C, при яких магнітна проникність різко падає і стає рівною одиниці. Після того як сталь втрачає магнітні властивості з формуванням аустеніту, глибина проникнення струму різко зростає.

Знаючи залежність глибини проникнення струму від температури, можна представити процес індукційного нагрівання сталі за наступною схемою.

На початку відбувається нагрівання сталі в тонкому поверхневому шарі, що дорівнює глибині проникнення струму в холодний метал. Після втрати цим шаром магнітних властивостей глибина проникнення струму збільшується, і нагрівається шар, розташований глибше, при цьому збільшення температури у першому нагрітому шарі сповільнюється.

Після втрати магнітних властивостей другим шаром починається швидке нагрівання третього шару і так далі. Межею зростання глибини проникнення тока є гарячий шар проникнення.

Підвищення температури у шарі гарячої глибини проникнення відбувається за рахунок індукованих струмів, а в більш глибоких шарах - в основному за рахунок теплопровідності.

Пічне нагрівання дозволяє досягти швидкості росту температури до 1 градус на секунду, а при індукційному нагріванні ця швидкість може досягати значень від 10^2 до 10^3 град/с. З інтенсифікацією процесу нагрівання фазові перетворення відбуваються в області вищих температур. Якщо під час термічного нагрівання температура закалювання для сталі 40 становить 840...860°C, то при індукційному нагріванні зі швидкістю 250 град/с вона досягає значень 880...920 °C, а при 500 град/с - 980...1020 °C. Важливо відзначити, що при цьому розмір зерна аустеніту не лише не збільшується, а навіть стає дрібнішим, порівняно з термічним нагріванням. Це пояснюється тим, що швидкість утворення зародкових центрів аустеніту зростає значно швидше, ніж лінійна швидкість їхнього зростання [15].

Таким чином для отримання загартованого шару товщиною 1...1,3 мм, використано параметри, що вказані в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Параметри гартування СВЧ

Частота індукційного струму	50...60кГц
Питома потужність, Вт/см ²	2,1·10 ³
Час нагріву, с	30

Індукційні установки використовують тирісторні конвертори як джерело живлення, що перетворюють струм із промисловою частотою 50 Гц на змінний струм підвищеної частоти в діапазоні 0,5-1 кГц. Зміна частоти відбувається за допомогою комутації постійного струму за допомогою керованих кремнієвих вентилів - тирісторів.

4.5 Контроль якості виготовлення конічного зубчатого колеса

Основні параметри, що контролюються при виготовленні зубчатих колес, є: твердість поверхні і серцевини, глибина шару і структура.

Початковий етап включає візуальний огляд, спрямований на виявлення вад на поверхні зубчатих коліс, таких як тріщини та інші суттєві дефекти. Для цього відбирається 20 % деталей від партії деталей, що пройшли ТО.

За допомогою мікроскопа МПБ-2 перевіряють глибину насиченого шару на зразках-свідках.

Наступним етапом є контроль твердості виробів, який проводиться за допомогою твердомірів Роквелла (ТШ-2). Твердість перевіряється для 1% виробів від завантаження у піч.

Контроль структури в серцевині дослідних зразків та у поверхневому азотонавуглецьованому шарі здійснюється на отриманих зразках-свідках.

Вміст азоту та вуглецю у поверхневому шарі зубчатого колеса визначається за допомогою пошарового хімічного аналізу стружки.

Мікроструктура сталі 18Х2Н4МА після ХТО та гартування з 800 °С і відпуску при різних температурах представлена на рисунку 4.5.

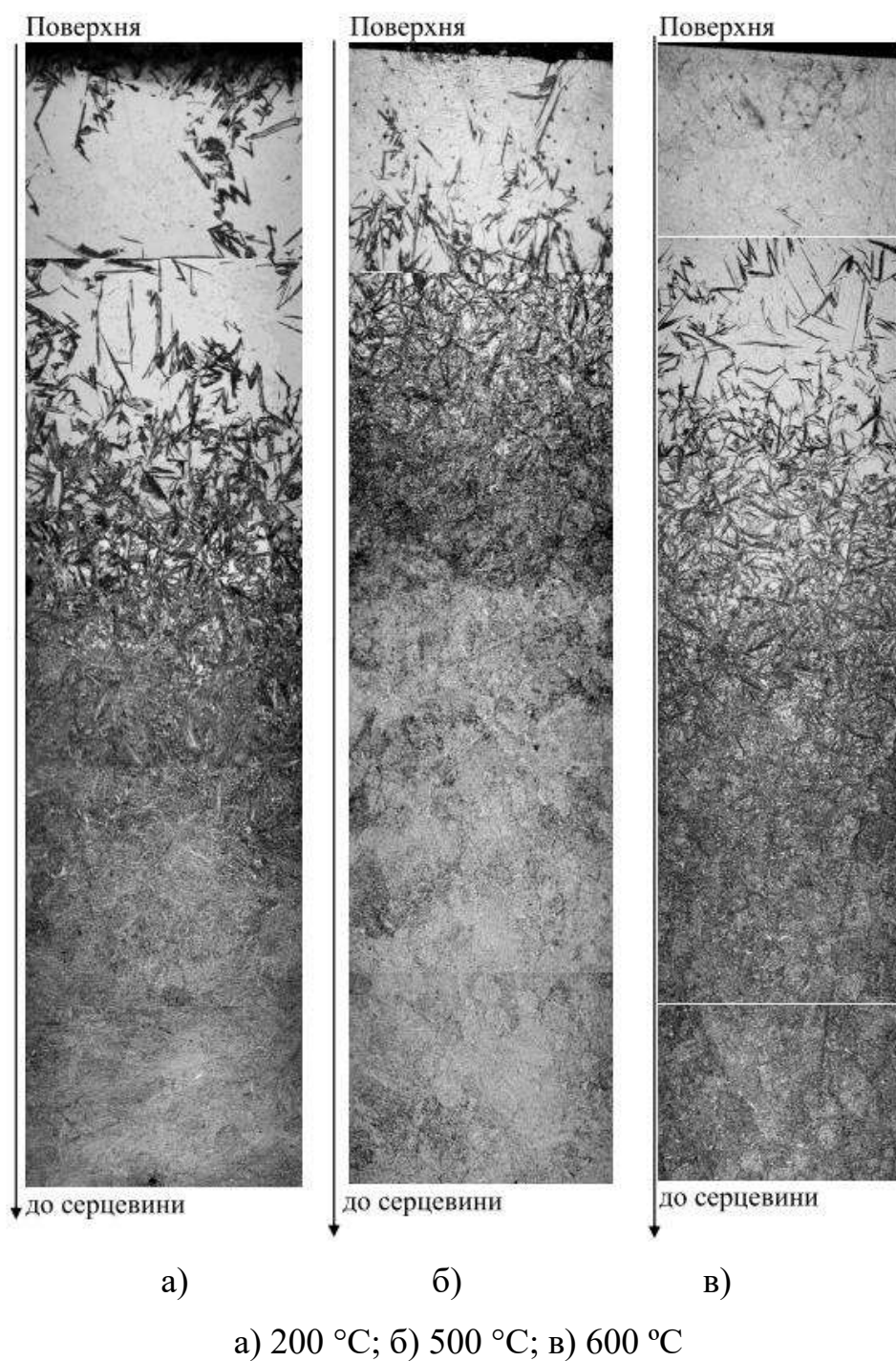


Рисунок 4.5 – Мікроструктура сталі 18Х2Н4МА після гартування з 1100° С при різних температурах відпуску, x200

Після ціанування та гартування з температури 800 °С і відпуску при температурі 200 °С в робочій частині зразків спостерігався переважно Азал. (до 45-50 %) і мартенсит гартування (рис. 4.5 а).

Гартування з температури 800 °С сприяє утворенню у мікроструктур на поверхні деталей великої кількості $A_{зал.}$, разом з тим, структура по товщині азотонавуглецьованого шару градієнто переходить з практично повністю аустенітної в мартенситну. Подальший відпуск при температурі 400 °С сприяє частковому розпаду аустеніту, що корелює з виділенням цементиту і частковим перетворенням в мартенсит відпуску.

Збільшення температури відпуску до значень 500-600 °С впливає на сфероїдизацію та зростання цементиту, а також при цьому відбувається виділення карбідів складу $((Fe, Cr)_3C$ і Mo_2C), коалесценція і сфероїдизація, що ілюструє рисунок 4.5, б, в [14].

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ХТО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

В даному розділі проведено аналіз основних шкідливих та небезпечних факторів, які можуть призводити до небезпеки для організму, а також визначені умови, що потенційно можуть спричинити травмування під час виконання робіт. Вжиті заходи спрямовані на ліквідацію цих факторів і гарантування організованих та коректних дій у надзвичайних ситуаціях під час проведення технологічного процесу виготовлення зубчатого колеса.

Необхідною складовою організації праці та виробництва є система заходів з охорони праці. Ця система включає в себе низку правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів. Мета цих заходів полягає в збереженні життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності.

5.1 Аналіз потенційних небезпек при виготовленні конічного зубчатого колеса

Цех термічної обробки металів оснащений наступним обладнанням: електропечами, гартівним агрегатом, одним завантажувальним пристроєм та ділянкою для зберігання небезпечних хімічних речовин. Крім того, у цеху передбачено повітряний душ для кожного робочого місця поруч із дверима печей та гартівного агрегату, а також систему припливно-витяжної вентиляції.

Ризики та потенційно шкідливі впливи, що виникають під час термічної обробки деталей, в першу чергу залежать від конкретного виду обробки, використовуваного обладнання та робочих умов (наприклад, з контрольованою атмосферою, розплавами солей і т. д.). У цьому термічному цеху експлуатуються

електропечі, гартівні агрегати та охолоджувальні пристрої. Крім основного обладнання, застосовуються додаткові (для очищення, поверхневого зміцнення і т. д.), допоміжні (для створення контрольованих атмосфер, механізації, підйомно-транспортні засоби і т. д.) та контрольні (прилади для контролю якості виробів, теплового режиму, складу атмосфери, управління процесами і т. д.) засоби [15].

Аналіз потенційних небезпек включає в себе розгляд різноманітних факторів, які можуть призвести до травм та загроз для безпеки та здоров'я працівників. Серед цих факторів можна виділити:

Оцінка можливих ризиків включає аналіз різноманітних чинників, які можуть призвести до травм і становити загрозу для безпеки та здоров'я працівників, серед чинників можна виділити:

а) недостатня якість професійної підготовки фахівців може викликати порушення технологічного процесу та сприяти виникненню травм;

б) неналежна організація робочих місць може призводити до створення умов, що сприяють травмуванню працівників;

в) пошкодження внаслідок механічних впливів під час підготовки та зварювання виробів;

г) збільшення ризику ураження електричним струмом може бути викликане порушеннями правил електробезпеки, відсутністю захисного заземлення або його порушенням, а також наявністю відкритих електричних з'єднань. Це потенційно може призвести до травм електрострумом і, у виняткових випадках, навіть призвести до смертельних наслідків;

є) ризик отруєння газами та аерозолями, що утворюються під час хімічних технологічних операцій ХТО при підвищеній загазованості токсичними газами, які є в складі технологічного процесу;

ж) підвищена температура матеріалів або поверхні устаткування, а також збільшений рівень теплового випромінювання можуть призводити до перегрівання та можливих опіків, особливо при порушенні технологічного процесу та недотриманні правил техніки безпеки.

з) низькі якісні показники атмосферного середовища на робочих дільницях;

л) можливість виникнення загоряння через порушення вимог пожежної безпеки;

м) шкідливий вплив електромагнітних випромінювань під час індукційного гартування;

н) інші можливі ризики, пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях.

Норми небезпечних і шкідливих виробничих факторів у робочій зоні не повинні перевищувати встановлені значення:

а) показники важкості праці повинні бути не вищі II класу (допустимі) згідно з "Гігієнічною класифікацією праці" № z0472-14;

б) інтенсивність інфрачервоного випромінювання та температура нагрітої поверхні устаткування повинні зберігатися на рівнях, які не перевищують відповідно 140 Вт/м^2 і $45 \text{ }^\circ\text{C}$;

в) рівні шуму та звукового тиску на робочому місці під час термічної обробки та ХТО повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99;

г) процедура захисного заземлення і занулення повинна відповідати визначеним у стандарті вимогам;

д) концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинна залишатися в межах встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК).

5.2 Заходи безпеки під час виконання робіт з ХТО

Всі виконані завдання повинні супроводжуватися нарядом-допуском, під керівництвом та наглядом керівника робіт. Основні обов'язки відповідального керівника робіт включають:

- провести зовнішній огляд робочого місця;

- перевірити дотримання всіх заходів з безпеки, визначених у відповідній технології;
- інформувати персонал про всі можливі види небезпек, пов'язані з виконанням робіт;
- перевірити наявність відповідних документів сертифікації у працівників;
- визначити оптимальний та безпечний маршрут для переміщення персоналу;
- здійснювати нагляд та контроль за діями персоналу під час виконання робіт.

Приміщення для проведення термічної обробки виробів може займати весь простір будівлі або розташовуватися в межах інших цехів, відділяючись від них міцною перегородкою. Ширина проїзду складає не менше 18 метрів. Вікна приміщення обладнані спеціальними операційними люками, які мають платформи для зручного очищення світлових отворів від пилу. Стіни виробничого простору обробки покриті вогнестійкою фарбою та облицьовані кахельною плиткою.

Переміщення вантажів виконується за допомогою устаткування для завантаження та розвантаження. Малі компоненти транспортуються в ящиках, а корозійні речовини - у пляшках. При транспортуванні:

- термічних цехах використовують мостові крани (підвісні крани застосовують лише на невеликих ділянках);
- експлуатація підйомних механізмів повинна відбуватися відповідно до "Правил встановлення і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів" і відповідати "Санітарним правилам щодо обладнання кранів".

Хімічні речовини знаходяться в закритих тарах, призначених спеціально для їх збереження, в спеціально обладнаних і відведених місцях. Тара з хімічними речовинами повинна мати відзначене найменування речовини та вказівку на відповідність ДСТУ або ТУ. Відходи, які мають високий ступінь токсичності, зберігаються у спеціальних приміщеннях і тарах для уникнення забруднення ґрунту, водних ресурсів та атмосфери.

В таблиці 5.1 вказана густина теплового потоку без застосування засобів захисту на різних робочих місцях.

Таблиця 5.1 – Густина теплового потоку без застосування засобів захисту

Робоче місце, операція	Інтенсивність, кВт/м
Гартівний-відпускний агрегат(завантаж)	1,11...1,74
Гартівний-відпускний агрегат(розвантаж)	0,35...0,49
Вертикально-гартівна піч	2,15...3,15
Шахтові електропечі	0,7...1,4

Будівлі термічних цехів оснащують загальнообмінною припливно-витяжною системою вентиляції. Повітря постачається в верхню зону приміщення або розсіюється в робочу зону з такою швидкістю, що забезпечує рух атмосфери на робочому місці не більше 0,3 м/с. Розрахунок необхідного об'єму повітря проводиться враховуючи основний вид шкідливих речовин та надлишкову теплоту.

Ширина проїздів визначається з метою забезпечення безпеки руху транспортних засобів і встановлюється відповідно до максимальних габаритів транспортних засобів із завантаженням. У випадку однобічного руху підлогового колісного безрейкового транспорту, ширина проїзду повинна бути в межах 2,5 - 3 метри. Для випадків двобічного руху підлогового колісного безрейкового транспорту та вантажних машин із вантажопідйомністю до 3 тонн, рекомендована ширина проїзду - 4 метри [16].

Над завантажувальними вікнами біля нагрівних печей встановлюють зонти-козирки або витяжні комбіновані зонти.

Для забезпечення необхідних метеоумов на постійних робочих місцях ефективним заходом є використання повітряних і водяних завісок при тепловому опроміненні працівників [17].

У приміщеннях для зберігання і фасування ціаністих солей, з'єднання між стінами та підлогою повинні мати закруглені форми, і не повинні мати вибоїв,

тріщин чи щілин, де можуть накопичуватися залишки солей. Заборонено встановлення плінтусів, дерев'яних полиць, стелажів та інших елементів. Підлога має бути гладкою і покритою матеріалами, такими як метлаські плитки, лінолеум або інші водонепроникні матеріали, які відводять рідину за допомогою ухилів.

Характеристики мікроклімату в робочій зоні повинні відповідати визначеним стандартам, зокрема, Санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99.

Звуковий тиск на робочих місцях повинен відповідати встановленим стандартам, визначеним у Санітарних нормах виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99.

Рівень вібрації на робочих місцях повинен залишатися в межах встановлених норм, як це передбачено у Державних санітарних нормах виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99.

У виробничих приміщеннях, де неможливо забезпечити встановлені норми для показників мікроклімату, важливо приймати заходи для захисту працівників від перегрівання, охолодження та інших шкідливих факторів.

Термічні цехи повинні мати системи опалення, які інтегруються з припливною вентиляцією без рециркуляції. За умови належного техніко-економічного обґрунтування допускається використання повітряно-опалювальних агрегатів і місцевих нагрівальних приладів. Місцеві нагрівальні прилади повинні мати гладку поверхню, яка легко очищається від пилу. Виробничі і допоміжні приміщення не повинні використовувати побутові або саморобні електронагрівальні прилади.

В термічних цехах необхідно забезпечити як природну, так і штучну вентиляцію приміщень.

На постійних робочих місцях для забезпечення необхідних мікрокліматичних умов відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, повітряне душення слід використовувати : при тепловому опроміненні працівника із інтенсивністю 350 Вт/м^2 і більше; при підвищенні температури повітря в робочій зоні понад встановлені норми згідно з СНиП 2.04.05-91 та ДСН 3.3.6.042-99.

Слід враховувати, що системи, які постачають повітря для душування, не повинні комбінуватися з системою припливної вентиляції.

Обладнання та місця, де відбувається розкриття тари та використання або утворення шкідливих і вибухонебезпечних речовин, повинні бути оснащені самостійними системами локальної витяжної вентиляції. Розташування місцевих відсмоктувачів повинно бути сплановане таким чином, щоб повітря, яке відсмоктують, не проходило через зону дихання працівника.

Установки індукційного електротермічного обладнання повинні бути обладнані локальною витяжною вентиляцією у формі витяжного зонта. Швидкість повітря поруч з гартівним контуром повинна бути достатньою для відсмоктування шкідливих гарячих газів, що визначається розрахунками.

Місцеві відсмоктувачі та укриття повинні бути невід'ємною частиною виробничого устаткування, надійно кріпитися і нестворювати незручності для працівників.

Системи управління процесами термічної і хіміко-термічної обробки повинні мати доступ для обслуговування і ремонту, забезпечуючи безпечний доступ.

Для зниження температури поверхонь обладнання та зменшення ступеня нагріву повітря на робочих місцях рекомендується використовувати теплоізоляційні пристрої. Температура на поверхні обладнання не повинна перевищувати 43 градуси Цельсія відповідно до вимог ДСТУ EN 563-2001 "Безпечність машин. Температура поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь".

Характеристики електромагнітних полів на робочих місцях повинні відповідати нормам, установленим Державними санітарними нормами і правилами для роботи з джерелами електромагнітних полів. Ці стандарти були затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18 грудня 2002р під номером 476.

Працівники повинні використовувати спецвзуття, спецодяг та засоби індивідуального захисту: захисні рукавиці, окуляри, засоби для захисту слуху. Вибір засобів індивідуального захисту органів дихання має відповідати вимогам Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання, зареєстрованих 04 квітня 2008 року за № 285/14976 (НПАОП 0.00-1.04-07).

Установки для проведення індукційного гартування повинні відповідати таким вимогам:

- індукційні установки повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 та експлуатуватися до вимог НПАОП 40.1-1.01-97 і НПАОП 40.1-1.21-98. Параметри електромагнітних випромінювань на робочих місцях повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.096-2002;

- щоб забезпечити безпечність обслуговування, індукційні генератори повинні мати захисні та блокувальні пристрої, які виключають доступ персоналу до всіх частин установок, які знаходяться під напругою. Конструкція цих пристроїв визначається при проектуванні устаткування для кожного конкретного випадку, враховуючи умови безпечного проведення робіт та допустимі рівні електромагнітних полів відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 та ДСН 3.3.6.096-2002;

- електропроводка, що йде від генератора до первинної обмотки гартівного трансформатора, повинна мати надійний захист від можливих ушкоджень. Це може бути досягнуто, наприклад, шляхом прокладання проводів у металеві, добре заземлені труби або у вигляді шин, розташованих на ізоляторах в каналі під підлогою;

- силовий трансформатор та випрямляючий пристрій слід установлювати у спеціальній екранувальній шафі, яку передбачає виробник заводу;

- встановлені пристрої для індукційного гартування мають бути оснащені блокувальними засобами, які перешкоджають активації установки у випадку відсутності води в системі охолодження, а також запобігають доступу працівників до елементів, що перебувають під напругою;

- у випадку, коли установки для індукційного гартування живлять кілька робочих місць, обов'язково має бути наявний загальний пульт управління. Додатково, на кожному робочому місці повинні бути встановлені аварійні вимикачі для дистанційного відключення установок;

- нагрівальні індуктори повинні бути обладнані місцевими системами відсмоктування;

- з метою безпеки установки для індукційного гартування мають бути укомплектовані блокувальними огороженнями та світловою сигналізацією.

Вимоги до гартівних баків наступні:

- гартівні масляні баки і ванни повинні бути оснащені централізованою системою охолодження або індивідуальними пристроями для перемішування та охолодження масла. При загартуванні невеликої кількості дрібних деталей, які не викликають нагрівання масла вище 80 градусів Цельсія, допускається експлуатація баків без маслоохолоджувальних пристроїв;

- гартівні масляні баки повинні бути обладнані збірними ємностями для повного зливання масла. Діаметр зливальних труб повинен бути достатнім для забезпечення аварійного зливання масла з бака не більше, ніж за 10 хвилин;

- обладнання для зберігання масла, такі як баки і ванни, мають бути оснащені різноманітними пристроями для контролю та безпеки. Це включає системи подання води, які регулюють рівень і температуру масла, з метою запобігання виплесків та загорянь. Також, вони повинні бути обладнані пристроями для автоматичного контролю рівня масла, включення та вимикання місцевої витяжної вентиляції, а також автоматичною сигналізацією через звук і світло у випадку аварійного стану, що супроводжується одночасним відключенням подачі палива до нагрівальної печі.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи, спрямовані на забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці, розробляються відповідно до вимог, визначених у "Гігієнічній класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу", що були затверджені Міністерством охорони здоров'я України 06.05.2014 року під № 472/25249.

На виробничих ділянках термічних цехів рекомендується обладнати санітарні пости, що мають оснащені аптечки з медикаментами та іншими засобами для надання працівникам першої (долікарської) допомоги у разі нещасних випадків. На внутрішній стороні дверцят аптечки слід розмістити інформацію щодо застосування медикаментів за їх призначенням.

Побутові приміщення рекомендується розташовувати в прибудові до виробничого будинку або в окремому будинку, який може бути з'єднаний з виробничим будинком теплим переходом. Також допускається розміщення побутових приміщень у основному корпусі, але при цьому важливо, щоб вони були ізольовані від виробничих приміщень за допомогою тамбура або коридору з виходом на зовнішню територію.

Працівникам гарячих ділянок цеху рекомендується забезпечуватися підсоленою газованою водою з вмістом 0,5 % повареної солі у кількості 4-5 літрів на людину в зміну, а також іншими напоями.

Системи питного водопостачання мають бути підтримані в чистоті, обладнані зливальними раковинами або спеціальними приймачами для води.

Установка пристроїв питного водопостачання заборонена на ділянках ціанування, рідинного азотування і свинцевих ванн.

Виробничні приміщення термічних цехів, де проводяться роботи зі шкідливими речовинами, такими як кислоти, луки та інші, повинні бути оснащені душами і фонтанчиками для промивання очей і шкіри. Ці засоби

повинні розташовуватися в таких місцях, які забезпечують їх використання не пізніше, ніж через 6-12 секунд після ураження.

Вентилі, які регулюють температуру і подавання води в душові кабінні, повинні бути розташовані в місцях, що унеможливають опіки гарячою водою під час користування душем. Рекомендується встановлювати вентилі та змішувальні пристрої ззовні кабінні або поруч із входом в неї.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Розташувати на робочому місці основні засоби для пожежогасіння. Щодня здійснювати прибирання робочого місця після завершення робіт, видаляючи сміття та горючі матеріали.

Здійснення зварювальних та інших вогневих робіт дозволяється лише після вжиття заходів, спрямованих на попередження можливості загорання (вимкнення обладнання, видалення всіх горючих матеріалів з робочого місця, захист конструкцій та обладнання, забезпечення первинними засобами пожежогасіння).

При проведенні електрозварювальних робіт необхідно використовувати електрозварювальні апарати, що пройшли вчасну перевірку та випробування. Заземлення електрозварювального обладнання має відповідати вимогам розділу 8 Правил влаштування електроустановок (ПУЕ).

Підключення та відключення електрозварювального обладнання до/від електромережі має виконувати персонал електроцеху. Під час перерв у роботі та після закінчення робочої зміни електрозварювальні апарати слід відключати від електромережі. Після завершення робіт всі апарати та обладнання слід прибрати в спеціально призначені приміщення.

Виконання тимчасових зварювальних та інших вогневих робіт має відповідати вимогам НАПБ В.01.034-2005/111 "Правила пожежної безпеки у

компаніях на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України". Керівник робіт повинен забезпечити перевірку місця виконання тимчасових вогневих робіт протягом 2 годин після їх завершення.

5.5 Заходи від впливу магнітних полів

Під час роботи обладнання для контактного зварювання може виникати значне перевищення нормативів магнітної напруженості, що становить потенційну небезпеку для здоров'я зварників. Основними джерелами такого магнітного впливу є сильно навантажені ланцюги, зокрема зварювальний контур.

Зокрема, особливо великі перевищення спостерігаються при експлуатації обладнання третьої групи, де напруженість магнітного поля перевищує або дорівнює 40 кА/м. Згідно з останніми нормами, такі види контактного зварювання характеризуються перевищенням гранично допустимих значень магнітного поля в певних діапазонах частот, визначених в ДСН 3.3.6.096-2002.

Джерелами магнітної напруженості є сильноструміві ланки, що є складовою частиною вторинної ланки зварювального трансформатора. У більшості типів обладнання для контактного зварювання, зварювальний струм відповідає вторинному струму зварювального трансформатора.

Для забезпечення захисту працівників від електромагнітного випромінювання, що виникає при електричному імпульсному розряді, рекомендується використовувати огорожувальні пристрої, такі як кожухи, щитки, екрани та інші. У випадку установок з винесеною контурною котушкою і конденсатором важливо забезпечити їхнє роздільне екранування. Ці заходи спрямовані на мінімізацію впливу електромагнітних полів на працівників і зменшення ризику можливих негативних впливів на їхнє здоров'я.

Таблиця 5.2 – Залежність тривалості перебування людини в магнітному полі від його рівня

Час перебування робітників, год	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА/м	6	4,9	4	3,5	2,5	2	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Обладнання, яке випромінює електромагнітні поля (ЕМП), може бути розташоване на різних місцях, відповідно до його призначення, конструкції, потужності та умов експлуатації. Це може охоплювати окремі, спеціальні приміщення і загальні зони, в том числі розташування в поточних лініях відповідно до вимог, визначених у Державних санітарних нормах та правилах згідно з ДСН 3.3.6.096-2002.

5.6 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

На виробництві можуть виникати різні надзвичайні ситуації, включаючи:

1. Пожежа. Може виникнути через несправність обладнання, недотримання пожежних правил, недбалість або запальні матеріали.
2. Вибух. Може статися внаслідок неправильного зберігання чи використання вибухонебезпечних речовин або за невідповідних умов роботи.

3. Аварія машин чи обладнання. Можливість зламу, виходу з ладу або несправності обладнання, що може призвести до травмування працівників чи шкоди для виробництва.

4. Наслідки натуральних катастроф. Виробництва, розташовані в зоні можливих землетрусів, повеней, ураганів або інших стихійних лих, можуть бути під загрозою.

7. Транспортні аварії. Якщо на підприємстві є автотранспорт, можливість аварійних ситуацій на дорозі, включаючи зіткнення або зсуви.

Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях охоплюють комплекс заходів, спрямованих на попередження та ефективне реагування на небезпечні ситуації, що можуть стати причиною загрози життю, здоров'ю та майну людей. Ці заходи включають планування, тренування, обладнання та налагодження системи спостереження та комунікації, а також організацію евакуації та надання першої допомоги постраждалим. Крім того, важливо забезпечити належний рівень обізнаності та навичок з роботи з пожежною технікою та засобами колективного та індивідуального захисту, а також проводити регулярні перевірки та оновлення систем безпеки. Особлива увага приділяється також реагуванню на надзвичайні ситуації, пов'язані з екологічними катастрофами, аварійними розливами небезпечних речовин та іншими серйозними загрозами довкіллю та здоров'ю людей.

З метою запобігання виникненню, ліквідації НС на підприємстві, слід дотримуватися наступних рекомендацій:

1. Розробити та впровадити систему управління безпекою праці, зокрема створити політику безпеки та процедури її дотримання.

2. Проводити регулярні перевірки устаткування, машин та іншого обладнання з метою виявлення технічних несправностей та їх своєчасного усунення.

3. Проводити періодичні навчання та тренінги для працівників з питань безпеки та профілактики надзвичайних ситуацій.

4. Забезпечити виконання вимог пожежної безпеки, включаючи наявність пожежних пристроїв, дверей аварійного виходу, евакуаційних планів, проведення навчань з евакуації тощо.

5. Дотримуватися правил зберігання та використання хімічних речовин, включаючи їх герметичне упакування та знакування, установлення витяжної вентиляції, носіння індивідуальних засобів захисту та ін.

6. Забезпечити наявність необхідного оснащення для надання першої медичної допомоги та негайного реагування в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

7. Проведення аудиту безпеки. Виконується комплексна перевірка системи управління безпекою праці на підприємстві з метою виявлення недоліків, невідповідностей та можливостей для покращення.

8. Співпрацювати з відповідними органами державного контролю та нагляду з питань безпеки праці для забезпечення виконання вимог законодавства.

Виявлення можливостей виникнення аварій слід проводити на основі експертного аналізу із залученням фахівців з безпеки праці та інженерів з певної галузі виробництва. Основні кроки виявлення можливостей виникнення аварій на виробництві включають:

1. Огляд і аналіз устаткування та обладнання: проводиться огляд технологічних процесів, механізмів та елементів обладнання з метою виявлення можливих дефектів, слабких місць, зносу або погіршення якості.

2. Оцінка робочих умов: проводиться аналіз робочих місць, їх організації та умов праці з метою виявлення потенційно небезпечних факторів, таких як шкідливі хімічні речовини, висока температура, недостатня провітрюваність тощо.

3. Вивчення історичних даних та статистики: аналізується інформація про попередні аварії, інциденти та порушення виробничої безпеки з метою виявлення шаблонів та тенденцій, а також встановлення причин та наслідків попередніх надзвичайних ситуацій.

4. Розгляд технічних документацій та нормативних вимог: аналізуються технічні характеристики устаткування, правила його експлуатації та інструкції з безпеки для виявлення можливих вразливостей, недоліків або недосягнення нормативних вимог.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Мета дипломного проєкту полягає у розробці та вдосконаленні технології виготовлення зубчатого колеса шляхом заміни базової технології на ціанування з подальшою ТО для підвищення його ресурсу експлуатації.

Основними операціями ТП є механічна обробка, ціанування, термічна обробка та контроль якості отриманого виробу.

Очікуваний економічний ефект отримано за рахунок підвищення ресурсу роботи зубчатого колеса у порівнянні з базовою технологією.

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту наведені у таблиця 6.1 .

Таблиця 6.1 - Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

Місячна програма виготовлення редукторів, шт	Затрати на виготовлення одного редуктора за базовим ТП, грн	Затрати на виготовлення одного редуктора за новим ТП, грн	Затрати на виготовлення одного редуктора за новим ТП, грн	Величина збільшення часу роботи редуктора, рази
10	120000	150000	200	2,2

1. Розраховуємо річну програму виготовлення редукторів:

$$\sum = 12 \cdot n = 120 \cdot 10 = 120 \text{ шт.}$$

2. Розраховуємо затрати на річну програму виготовлення редукторів за базовою технологією:

$$Z_6 = 120 \cdot 120000 = 14\,400\,000 \text{ грн.}$$

3. Розраховуємо затрати на річну програму виготовлення редукторів за новою технологією:

$$Z_6 = 120 \cdot 150000 = 18\,000\,000 \text{ грн.}$$

4. Враховуючи, що величина збільшення часу роботи зубчатого колеса, а відповідно і редуктора складає 2,2 рази, то різниця затрат на програмну кількість за базовою технологією складає:

$$P_{\text{баз}} = 14\,400\,000 - \frac{14\,400\,000}{2,2} = 7\,854\,545 \text{ грн.}$$

5. Так як зміна базової технології на нову підвищила затрати на виготовлення одного зубчатого колеса, а відповідно і редуктора, то різниця затрат на програму випуску в 120 шт. редукторів за ними складає:

$$P_{\text{рік}} = 18\,000\,000 - 14\,400\,000 = 3\,600\,000 \text{ грн.}$$

6. Розрахуємо загальний економічний ефект від впровадження нової технології для підвищення механічних характеристик деталей редуктора, врахувавши підвищення ціна виготовлення конічного колеса за новим ТП:

$$E = 7\,854\,545 - 3\,600\,000 = 4\,254\,545 \text{ грн.}$$

7. Враховуючи, що затрати на виготовлення конічного колеса складають 1/5 ціни виготовлення редуктора, то частка зубчатого колеса в грошовому еквіваленті економічного ефекту складає:

$$E_k = \frac{4\,254\,545}{5} = 850\,909 \text{ грн.}$$

Таким чином, перехід від базової технології виготовлення конічного зубчатого колеса дозволяє заощадити 4 254 545 грн. на рік.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз умов роботи конічного зубчатого колеса та матеріалу з якого воно виготовляється.

Виконано аналіз причин руйнування зубців та розглянуто технологічні прийоми, що дозволяють покращити характеристики деталі.

Розроблено та вдосконалено технологію виготовлення зубчатого колеса шляхом заміни базової технології на ціанування з подальшою термічною обробкою. Після ХТО товщина науглецьованого шару сталі 18Х2Н4МА склала 1...1,3 мм. Загартована азото-вуглецева поверхня зубців колеса дозволила значно збільшити ресурс роботи редуктора.

Було проведено аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що можуть впливати на робітників. На підставі цього аналізу надано поради щодо усунення або захисту від впливу цих факторів на здоров'я працівників.

Розраховано економічний ефект від застосування вдосконаленої технології, і який складає 4 254 545 грн. на рік, або 850 909 грн на рік у перерахунку на виготовлення конічних коліс.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
2. Говорун Т.П., Сметанін Р.С., Сітало С.О., Коваленко Н.Г. Прогресивні методи поверхневого зміцнення валів-шестерен. Системи розроблення та поставлення продукції на виробництво: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 17-20 травня 2016 р. Ред. кол.: О.Г. Гусак, К.О. Дядюра. - Суми : СумДУ, 2016. С. 208-211
3. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: посібник К.: Вища шк., 2013. 556 с.
4. ДСТУ EN 10250-2:2008 Поковки сталеві ковани для машинобудування загальної призначеності. Частина 2. Нелеговані якісні та спеціальні сталі (EN 10250-2:1999, IDT) [Чинний від 01.01.2010], Технічний комітет «Прокат сортовий, фасонний і спеціальні профілі» (ТК 2), 2008. С. 7-12
5. ДСТУ 8781:2018. Виливки зі сталі. Загальні технічні умови [Чинний від 01.01.2019], Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. С. 2-6.
6. Пилипенко О.І., Колесник Д.М., Березняк А.М., Шоха В.М. Пошкоджуваність і руйнування зубчастих передач редукторів вертольотів ми-8 та його модифікацій. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Чернігів: Брагинець О.В., 2020. Вип. №2. С. 92-106.
doi: 10.37701/dndivsovt.4.2020.11.
7. Шаповалов О.Л. Процеси в зубчастих передачах авіаційних редукторів та шляхи підвищення їх вібраційної міцності Технічні науки та технології. Чернігів: ЧНТУ, 2019. №1(15). С. 80-96

8. Шаповалов О.Л. Навантаженість зубчастих передач вертольотних редукторів та їх напружено-деформований стан Технічні науки та технології. Чернігів: ЧНТУ, 2018. №4 (14). С.41-54.
9. Невдаха, Ю. А. До руйнування зубців зубчастих Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград : КНТУ, 2012. Вип. 25, ч. 1. С. 224-229
10. Копей Б. В. О. І. Стефанишин, О. В. Євчук, В. В. Лопатін Прогнозування спрацювання деталей редукторів верстатів-гойдалок Проблеми тертя та зношування. 2010. Вип. 53. С. 42-58.
11. Копей Б.В., Стефанишин О.І. Аналіз спрацювання деталей редукторів верстатів-гойдалок Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2009. № 1(30). С.108-114
12. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: підручник [для вищих навч. закл.] К.: Ліра-К, Олди-плюс, 2013. 612 с.
13. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=194
14. Максимишина О.С., Чейлях О.П. Вплив залишкового аустеніту вструктурі цементованих сталей на їх зносостійкість II Всеукраїнська конференція молодих вчених «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку» (17 грудня 2020 р., м. Дніпро, Україна): Упорядники: Хохлова Т.С., Ступак Ю.О. Дніпро, 2020. С. 104-109.
15. Безопасность производственных процессов: Справочник, под ред. Белова В.М. М.: Машиностроение, 1985. 448 с.
16. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів [Чинний від 18.12.2007], Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2007.С. 15-17.
17. Павлов С.П., Губонина З.И. Охрана труда в приборостроении М.: Высшая школа, 1986. 216 с.

ДОДАТОК А

Конструкцію камерної електричної печі з металевими нагрівачами представлено на рисунку А1.

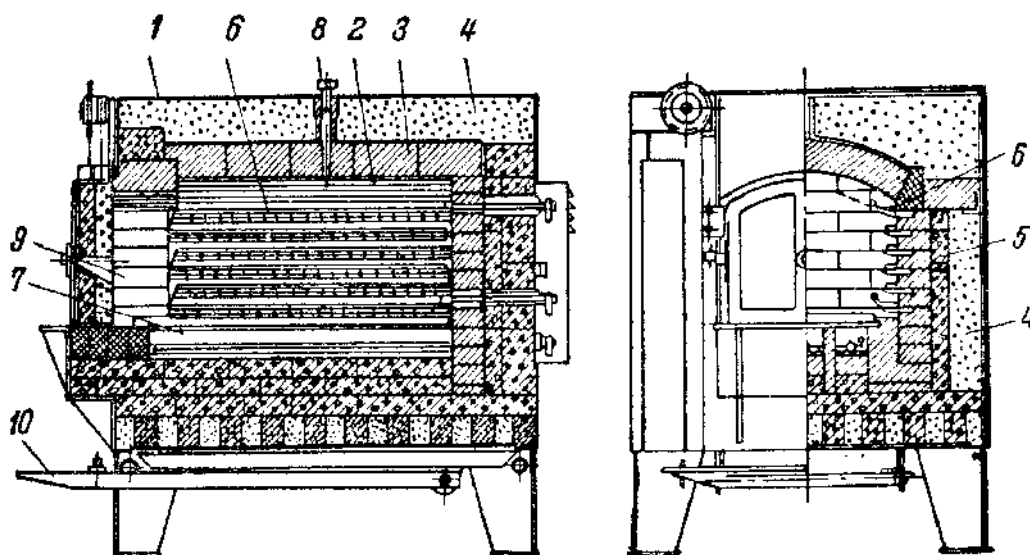


Рисунок А1 – Електрична камерна піч Н-30

Зовнішня поверхня печі складається з прямокутного каркаса 1 з листового заліза. Робочу камеру печі 2, де здійснюється нагрівання виробів, викладено вогнетривкою цеглою (шамотом) 3. Біля зовнішніх стін і над склепінням робочої камери є теплоізоляційна засипка 4 і шар ізоляційної цегли 5. Електронагрівачі 6 розташовані на бічних стінках і на поду печі. Щоб оберегти подові електронагрівачі від пошкоджень і замикань, їх захищають подовою плитою 7. Живлення електронагрівачів здійснюється від електричної силової мережі за допомогою спеціальних вводів, вставлених у стінки печі. Для вимірювання температури у склепінні печі поміщають термопару 8. У дверцятах печі є оглядове віконечко 9 для спостереження за нагріванням виробів. Підйом дверцят для завантаження і вивантаження оброблених виробів здійснюється за допомогою механізму, який приводиться в дію ногою педаллю 10. Дві цифри, що стоять поруч із буквою Н, характеризують номінальну потужність печі в кіловатах (Н-15, Н-30 тощо). Характеристика печі Н-30 наведена в таблиці А1.

Таблиця А1 – Технічна характеристика печі Н-30

Розміри робочої камери:	Величина параметру
Ширина, мм	450
Довжина, мм	950
Висота, мм	450
Напруга, В	380/220
Продуктивність, кг/год	125
Час розігріву до 850 °С, год	6

ДОДАТОК Б

Для індукційного гартування конічного зубчатого колеса зі сталі 18Х2Н4МА використовується установка, що зображена на рисунку Б1.

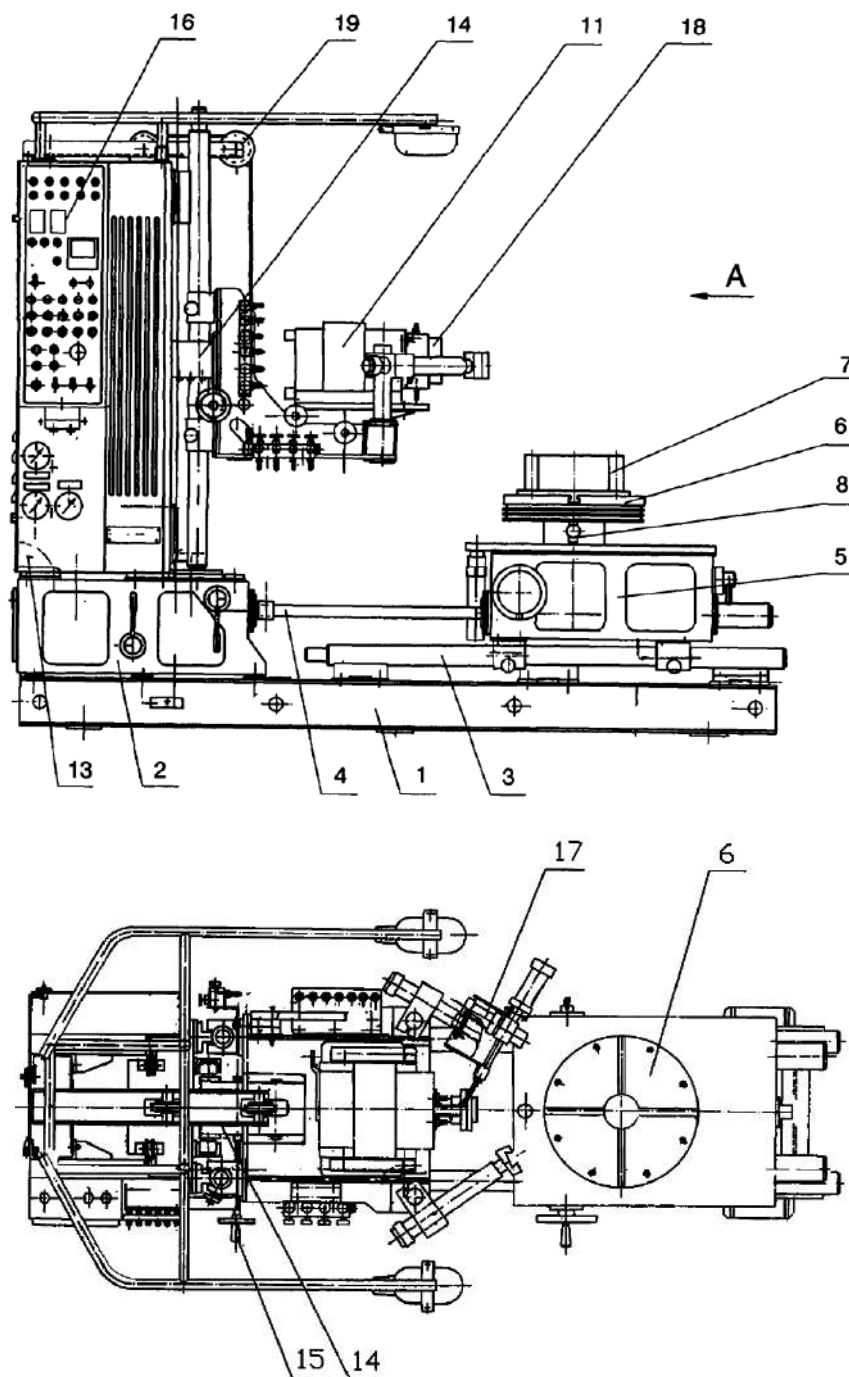


Рисунок Б1 – Установка для загартування зубів зубчатих колес

Установка для загартування зубів зубчастих коліс містить основу, виконану у вигляді рами 1, на якій змонтовано роздавальну коробку 2 і

горизонтальні напрямні 3. Роздавальна коробка слугує для розміщення двигуна постійного струму та передачі обертання до горизонтального гвинта 4 переміщення супорта 5, на якому встановлений стіл 6 для встановлення зубчастого колеса 7, а також валу 8 приводу обертання столу 6 і вертикального гвинта 9 підйому (опускання) платформи 10, на якій встановлено гартівний трансформатор 11 та індуктор (на кресленні не показаний). Платформа 10 переміщається вертикальними напрямними 12, змонтованими на стійці 13, опорою для стійки слугує роздавальна коробка 2.

Опорою для платформи під час її переміщення вгору-вниз по вертикальних напрямних 12 слугує повзун 14. На повзуні 14 змонтовано також механізм 15 ручного підйому (опускання) платформи.

На стійці також змонтовані пульт керування 16, блоки підготовки стисненого повітря, Установка забезпечена автопереключачем 17, що служить для переведення (повороту) зубчастого колеса на наступний зуб під час загартування всього зубчастого вінця під час роботи в автоматичному циклі, а також перехідником для індуктора 18.

Для зменшення навантаження на привід від ваги платформи і гартівного трансформатора змонтовано противагу 19.

Обертовий стіл 6 слугує для встановлення та обертання зубчастого колеса під час його загартування. Кришка столу має Т-подібні пази і різьбові отвори для кріплення монтажних пристосувань. На кришці столу виконані струмки клиноремінної передачі під час встановлення додаткового приводу столу. Кришка столу може бути жорстко зафіксована через кожні 45°. Стіл має регульоване гальмо.

Супорт 5 переміщається по горизонтальних напрямних за допомогою гвинтової передачі. У супорті змонтований черв'ячний редуктор, клиноремінна передача, фрикційна муфта, механізм увімкнення фрикційної муфти, механізм ручного обертання столу, механізм ручного переміщення супорта.