

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження методів нагріву з застосуванням СВЧ для розробки технології термічної обробки шестерень редуктора

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-211м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Бідний Володимир
(прізвище та ініціали)

Керівник Вініченко В.С. к.т.н., доц.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
БІДНИЙ Володимир

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження методів нагріву з застосуванням СВЧ для розробки технології термічної обробки шестерень редуктора

керівник проєкту (роботи) Вініченко Валерій Степанович доцент каф.ФМ, к.т.н

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) технологія нагрівання СВЧ, умови експлуатації шестерень редуктора, зразки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Літературний огляд; 2. Матеріали та методика досліджень. 3. Експериментальна частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Презинтація _____ :

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1	<u>Вініченко В.С.</u>		
2	<u>Вініченко В.С.</u>		
3	<u>Вініченко В.С.</u>		
4	Круглікова В.В		
5	Нестеров О.В		
НК			

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	09.10.2022	
2	Матеріали та методика досліджень	23.10.2022	
3	Експериментальна частина	14.11.2022	
4	Економічна частина	28.11.2022	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	11.12.2022	

Студент(ка)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 86 с., 8 рис., 17 табл., 1 дод., 21 джерело

НАГРІВ СВЧ, ШЕСТЕРНЯ, ДИФУЗИЯ, РЕДУКТОР, ЦЕМЕНТАЦІЯ,
ЗМІЦНЕНИЙ ШАР, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ВУГЛЕЦЬ, ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР,
ІНДУКЦІЙНИЙ НАГРІВ

Мета роботи: розробка нової технології термічної обробки з використанням технології нагрівання струмом високої частоти для виготовлення шестерень редуктора.

Розглянуті сучасні методи виробництва шестерень ротора та матеріали що використовують для їх виготовлення. Наведені недоліки існуючих технологій виготовлення зубчатих коліс. Досліджено можливість використання поверхневого гартування з використанням індукційного нагріву струмом високої частоти. Запропоновано технологію комбінованого зміцнення поверхневого шару зубців шестерень ротора, яка полягає в поверхневому гартуванні СВЧ після цементациї. Встановлена залежність між частотою струму та швидкістю нагрівання матеріалу. Запропоновано використання глибинного індукційного нагріву для забезпечення більш плавного переходу механічних властивостей від поверхні до серцевини виробу. Розраховано економічну доцільність запропонованого технологічного процесу.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Літературний огляд	8
1.1 Аналіз умов експлуатації шестерень редукторів	9
1.2 Сучасні методи підвищення зносостійкості шестерень редуктора	12
1.2.1 Цементация та нітроцементация	13
1.2.2 Азотування.....	13
1.2.3 Маршрутна технологія виготовлення шестерень редуктора з використанням ХТО.....	14
1.3 Технологія поверхневого гартування струмом високої частоти.....	16
1.4 Характеристика матеріалів виробів	21
1.5 Постановка задача та мета дипломної роботи	24
2 Матеріали та методика досліджень	26
2.1 Хімічний склад та властивості матеріалу дослідження	26
2.2 Визначення механічних властивостей	27
2.2.1 Дослідження на циклічну міцність на згин	27
2.2.2 Контактна витривалість.....	27
2.2.3 Дослідження зносостійкості.....	29
2.3 Дослідження мікроструктури	29
3 Експериментальна частина	31
3.1 Теоретичні засади перспектив використання нагрівання струмом високої частоти для цементации виробів	31
3.2 Розробка нової технології процесу термічної обробки шестерень редуктора.....	34
3.2.1 Розробка маршрутної технології нового методу зміцнення поверхні шестерень редукторів	34
3.2.2 Розробка режимів термічної обробки	37
3.2.2.1 Розробка температурних режимів нової термічної обробки	38
3.2.2.2 Розрахунок часу термічної обробки для запропонованої технології комбінованої цементации шестерень редуктора з	

використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ	40
3.2.3 Вихідний контроль, попередження та виправлення браку	42
3.3 Отримані результати	49
4 Економічна частина	52
4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій	52
4.2 Техніко-економічні розрахунки	55
5 Охорна праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	67
5.1 Аналіз потенційних небезпек	67
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	68
5.2.1 Попередження ураження електричним	68
5.2.2 Заходи безпеки щодо герметичності трубопроводів, що подають робочі гази до робочого місця	70
5.2.3 Заходи з безпеки для виключення можливості вибухів газоповітряної суміші при виконанні операції цементація	70
5.2.4 Захист від теплового випромінювання	71
5.2.5 Важкість праці	72
5.2.6 Організація робочих зон при виконанні операцій ТО	72
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	73
5.4 Заходи з пожежної безпеки	76
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	77
Висновки	83
Перелік використаних джерел	84
Додаток	86

ВСТУП

Сучасні виробничі виклики та постійний стрімкий розвиток технологій ставлять перед промисловістю завдання по пошуку нових та вдосконаленню існуючих методів обробки матеріалів для виготовлення деталей машин та компонентів конструкцій техніки. Одним із ключових елементів в механічних системах є редуктори. Забезпечення надійності та тривалості їх роботи визначається не лише конструктивними параметрами, але й якістю матеріалу з якого він виготовлений та його обробкою.

Одним із перспективних напрямків у сфері термічної обробки є використання методів, базованих на застосуванні технологій поверхневого зміцнення. Таких як хіміко-термічна обробка чи поверхневого гартування. Цей підхід дозволяє отримати достатньо високу стійкість до зношування на поверхні деталей та відносно пластичну серцевину, що є важливим для складових деталей редукторів.

Традиційно для підвищення зносостійкості шестерень використовують довготривалий та ресурсоємний процес хіміко-термічної обробки. Тому дослідження методу поверхневого гартування струмами високої частоти є перспективним і доцільним завданням.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Редуктор один з основних елементів будь якої механічної системи. Його основною задачею є зміна швидкості обертання та обертового моменту між двома або більше валами. Основна функція редуктора полягає в тому, щоб забезпечити оптимальні умови для роботи механізму або системи, переносячи потужність від джерела руху (двигуна) до виконавчого механізму з необхідними параметрами швидкості та обертового моменту [1].

Редуктори складаються з ряду основних елементів, які зустрічаються у будь якій конфігурації. Ось основні елементи редуктора:

1. Шестерня – це один з основних елементів редуктора, який відповідає за передачу руху між валами. Шестерні можуть бути зубчастими, конічними, черв'ячними або іншими типами відповідно до конструкції редуктора;
2. Вал – це циліндрична або конічна вісь, навколо якої обертаються шестерні. Вал приймає обертовий момент та передає його далі по системі;
3. Корпус – служить для утримання всіх елементів редуктора в необхідному положенні і захисту внутрішніх деталей від зовнішніх факторів;
4. Підшипники – встановлюються на валах для зменшення тертя та забезпечення плавної роботи редуктора. Вони дозволяють валам обертатися в межах корпусу [2].

Найбільш відповідальними складовими в конструкції редуктора є шестерні. Вони працюють в найбільш складних умовах і являються найбільш слабким місцем механізму передачі. Особливої уваги заслуговують шестерні редукторів газо-турбінних двигунів (ГТД), саме від них вимагається підвищена ефективність та якість. З огляду на це можна сказати, що підвищення експлуатаційних характеристик, саме шестерень редуктора ГТД, в значній мірі може підвищити працездатність і термін експлуатації двигуна, а як наслідок їх надійність.

1.1 Аналіз умов експлуатації шестерень редукторів

Зубчасті передачі являються одним з найбільш поширених механізмів у машинобудуванні. В редукторах двигунів особливо часто зустрічаються циліндричні та конічні зубчасті передачі з евольвентним зчепленням.

Шестерні працюють в умовах зношення та згинаючих навантажень при температурі до 400 °С. Матеріали для них вибираються з урахуванням конструкторсько-технологічних параметрів та умов експлуатації. Вибір сталі для зубчастих коліс залежить від різних факторів, таких як конструктивні особливості самого колеса та умови його роботи.

Загалом до шестерень редукторів висуваються наступні вимоги:

1. Ремонтопридатність;
2. Технологічність виготовлення;
3. Мінімальна вартість виробництва;
3. Підвищений термін експлуатації;

Найбільш складними умовами експлуатації і як наслідок вимогами до складових характеризуються редуктори, що застосовуються у газо-турбінних двигунах (ГТД). До таких редукторів висувають додаткові вимоги по надійності і безпечності, а також зменшенню питомої маси.

При експлуатації шестерні редукторів ГТД деформація зубів шестерень може сягати значень, що перевищують значення погрішностей закладених при їх виробництві, через що виникає гарантований контакт усіх сполучених, в моменті, зубців.

Навантаження, що на себе приймають шестерні можуть мати як статичний (викликаний крутним моментом), так і динамічний (виникає в залежності від якості складання та виготовлення зубців) характер.

При збільшенні швидкостей в зубчастих зачепленнях зростає динамічне навантаження, що вимагає більшої точності виготовлення зубів.

Навантаження виникають під час входу та виходу зубів з зачеплення. Так на вході виникає крайковий удар через неточності, а при виході зубів із зачеплення в точній передачі відбувається перерозподіл навантаження з динамічними зусиллями. У неточній передачі може виникнути серединний удар.

Найбільш небезпечні навантаження при роботі виникають в зубах і шліцах. У шлицевих з'єднаннях всі навантаження розподіляється рівномірно між всіма елементами шліца, завдяки тому що вони всі беруть участь у роботі одночасно. Але в зубчастому зачепленні основні навантаження несуть лише окремі зубці коліс, через те що саме вони працюють в моменті часу на для передачі крутного моменту.

Під час експлуатації шестерень виникає окружна сила, і значення цієї сили, яке може бути прийнятною, залежить від конструкції зуба колеса, матеріалу та режиму термічної обробки. Так, наприклад, значення окружної сили зубчасті колеса, поверхня яких зміцнена шляхом загартування з нагріванням СВЧ підвищується на 30-35% у порівнянні з виробами без поверхневого зміцнення.

Основним параметром, що визначає міцність зубців і шестерень є їх здатність опиратися згинаючим навантаженням. Навантаження згину, які з'являються в процесі роботи зубчастої передачі редуктора ГТД на поверхні шестерень можуть сягати 294 МПа [3].

Під час під час короткочасних перевантажень, таких як запуск машини, перемикання швидкостей, повороти, гальмування двигуном, а також при зміні режиму роботи двигуна, пов'язаному із подоланням природних перешкод – напруження вигину значно посилюються. В цих умовах напруження можуть збільшуватися в 2-3 рази в порівнянні з робочими значеннями. Високі рівень перевантаження може спричинити утворення тріщин та сколів на зубах, і у деяких випадках — поломку зубів у корені.

У зубчастих колесах, які працюють зі змінним зачепленням, та в разі неповного зачеплення зубів через неточне регулювання приводу керування,

напруження вигину сильно збільшуються. У таких випадках виникає торцеве та крайове викришування зубців, і спостерігається сильне зношення на торцях, що може призвести до передчасного критичного пошкодження шестерні. Окрім цього, на торцеву частину шестерні змінного зачеплення можуть діяти ударні навантаження.

Сила удару стає більш істотною, коли відсутні синхронізатори, які вирівнюють швидкості на початковому етапі. Сильні удари по торцях коліс, які зачіплюються, можуть також спричинити викришування і пошкодження зубів, що сполучаються. Інтенсивність ударних та згинаючих навантажень на зуби визначається геометрією працюючих пар. Наявність заокруглень на торцях зубів суттєво знижує напруги, що виникають від ударів.

З іншого боку, зуби коліс, які піддаються великим навантаженням, використовують значні тиски в зоні контакту. У відповідальних редукторах питомі тиски можуть досягати 2940 МПа в зоні контакту. Збільшення контактних напружень на робочій поверхні зубів може призводити до виникнення пітингу — викришування внаслідок контактної втоми поверхневого шару матеріалу. Пітинг зазвичай розпочинається в зоні найбільших контактних напруг, що перевищують міцність матеріалу. Ці напруги спочатку викликають відшаровування тонких поверхневих шарів, а потім, розповсюджуючись, можуть призводити до утворення глибоких "джерел" пітингу, до 2 мм у глибину.

Залежно від втомної міцності матеріалу, викришування може локалізуватися або прогресувати, порушуючи контакт зубчастої пари. Це може викликати удари при роботі коліс, збільшення згинаючих навантажень на зуби та передчасне руйнування зубчастих коліс, що зменшує довговічність передачі.

Контактна витривалість важконавантажених зубчастих коліс визначається головним чином легуванням сталі. Крім того дана характеристика значно залежить від стану поверхні зубців. Зміцнення поверхні за допомогою цементації суттєво підвищує стійкість сталі до

утворення питтинга. Однак дефекти, такі як знеуглецювання або збіднення вуглецем поверхні, можуть послабити цей ефект.

Міцність і надійність таких складнонавантажених деталей, як шестерні, забезпечуються головним чином за рахунок міцності матеріалу. Таким чином, вимоги до сталей, які використовуються для виготовлення зубчастих коліс, дуже високі.

Погрішності у виготовленні зубчастих коліс, деформація зубів під дією навантаження, можуть призводити до крайкових ударів зубів, викликаючи вібрації, крутильні коливання та високий рівень шуму. Підвищення точності виготовлення, збільшення коефіцієнта перекриття (що обумовлюється конструктивними змінами шестерень), підвищення міцності зубців за рахунок зміни кута зачеплення суттєво зменшити вплив вібрації та биття.

Як висновок з вищесказаного – точність зубчастої передачі визначається з урахуванням фактичного ступеня завантаженості та твердості суміжних зубців і всієї системи в цілому.

Згинальні напруження і контактна міцність шестерень являються найважливішими факторами, що впливають на їх працездатність і довговічність.

1.2 Сучасні методи підвищення зносостійкості шестерень редуктора

В наш час основними методами підвищення строку експлуатації шестерень редуктора є застосування технологій хіміко-термічної обробки для зубців.

1.2.1 Цементация та нітроцементация

В наш час цементация і подальше термічне загартування поверхні зубів є одними з основних методів хіміко-термічної обробки металів, які дають змогу підвищувати контактну-втомлювану міцність у 3... 4 рази, порівняно із загальною термообробкою, і збільшувати міцність на згин у 1,5 раза при отриманні твердості поверхні 55-60 HRC і твердості серцевини 30...45 HRC[4].

Нітроцементация підвищує зносостійкість поверхні зубів на 20-30% порівняно з цементацией і має високу пітінго-стійкість. Відповідно до ДСТУ 4543-71 використовуються леговані конструкційні сталі, такі як: 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН3А, 20ХН2М, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА.

Цементовані сталі з вмістом вуглецю більше 0,2% забезпечують більшу втомну міцність зубів, ніж сталі з меншим вмістом вуглецю. Під час нітроцементации рекомендуються сталі марок: 20ХН3А, 25ХГМ, 30ХГТ. Для забезпечення високої міцності зубів під час згину нарізку зубів необхідно виконувати з протуберанцем, з радіусним переходом поверхні від профілю до западини. Глибина зміцненого шару суттєво залежить від багатьох факторів, таких як: температура деталі, що обробляється, вуглецевий потенціал робочої атмосфери і найбільше від часу витримки. Зазвичай прийнято, що швидкість цементации складає від 0,10 до 0,12 мм/год. Таким чином виходить, що для зміцнення поверхневого шару товщиною всього 1 мм – тривалість цементации може сягати до 10 годин[5].

1.2.2 Азотування

Азотування - ефективний метод зміцнення поверхонь деталей, що

працюють на тертя, з отриманням поверхневої твердості 600-800 HV [4] за глибини твердого шару 0,2-0,8 мм. Азотування поверхні зубів зубчастих коліс використовується рідше, ніж цементация. Це пояснюється тим, що за різкоударних тривалих навантажень азотований шар металу відшаровується у вигляді тонкої плівки з товщиною, близькою до глибини зміцненого шару. При спокійному навантаженні і ступені перекриття в зачепленні більше чотирьох зубчасті передачі працюють надійно і тривало.

Іонне азотування застосовують для порівняно дрібних виробів, але порівняно з азотуванням воно має перевагу, оскільки збільшується зносостійкість поверхонь, що зазнають тертя. Значно скорочується загальний час процесу за рахунок зменшення нагріву й охолодження деталей, цей процес економічніший. Під час азотування виробів застосовують сталі марок: 38Х2Ю, 38Х2МЮА, 40Х, 40ХФА.

Для важко навантажених деталей машин, що працюють в умовах циклічних згинальних і контактних напружень, застосовують сталі марок: 38ХНЗМА, 30ХЗМ, 38ХГМ. Технологічний процес азотування вельми тривалий, так, наприклад, для отримання твердого шару 0,8 мм потрібно близько 100 год [5].

1.2.3 Маршрутна технологія виготовлення шестерень редуктора з використанням ХТО

Маршрутна технологія представляє собою план переміщення виробів по різних підрозділах та цехам виробничого підприємства, вказуючи на конкретні операції, які в кожному з них виконуються. Ці операції можуть повторюватися, але вони мають різне призначення, режими виконання та спрямовані на отримання виробів різної форми, розмірів та структури протягом виробничого процесу[6]. Маршрутна технологія може включати

десятки чи сотні операцій в залежності від матеріалу та геометрії виробу. У формуванні виробу беруть участь спеціалісти усіх підрозділів, в яких проводяться операції з обробки виробу. Приведена нижче схема (табл. 1.1) є спрощеною моделлю маршрутної технології.

Таблиця 1.1 – Маршрутна схема технології виробництва шестерень редуктора із застосуванням хіміко-термічної обробки

№ п/п	Назва операції	Ділянка, на якій виконується операція	Призначення операції
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів матеріалу
2	Вирізання заготовок	Заготівельний цех/ дільниця ковальською цеху	Отримання заготовки
3	Гаряче штампування	Ковальський цех	Надання необхідної форми
4	Попередня термічна обробка	Термічне відділення механічного або термічний цех	Надання матеріалу необхідних механічних властивостей для подальшої механічної обробки
5	Механічна обробка	Механічний цех	Надання необхідної форми розмірів виробів заданих робочим кресленням
6	Захист ділянок заготовки, які не потребують ХТО	Гальванічне відділення термічного цеху	Нанесення мідного покриття/ захисних паст на поверхні, що не піддаються ХТО

Кінець таблиці 1.1

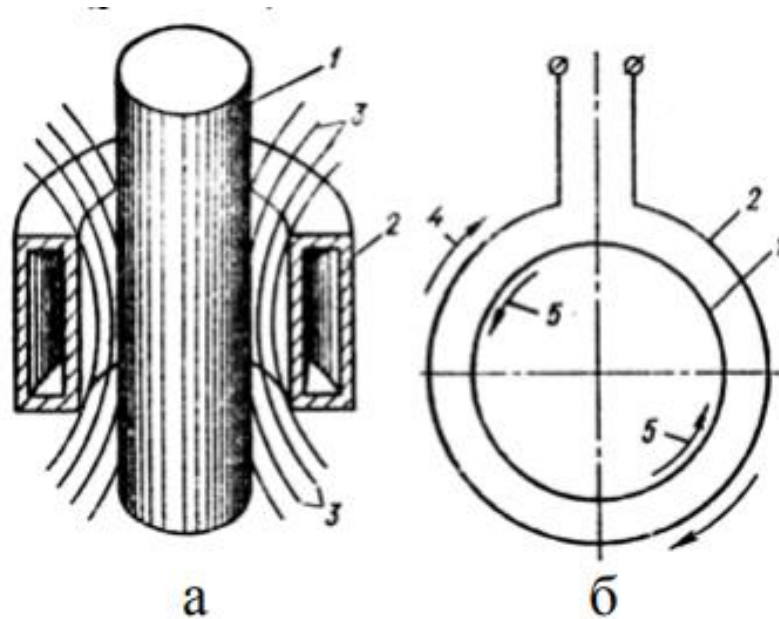
7	Цементация/ нітроцементация/ азотування	Хіміко-термічна дільниця термічного цеху	Насичення поверхні виробів вуглецем та азотом
8	Відпал	Термічний цех	Нагрів виробів, з метою усунення напружень, та урівноваження структури.
9	Гартування	Термічний цех	Термічна обробка, метою якої є отримання структури мартенсит
10	Обробка холодом	Термічний цех	Охолодження виробів до температур, нижчих за 0 °С , з метою зменшення кількості залишкового аустеніту
11	Відпуск	Термічний цех	Термічна обробка виробів з метою зменшення напружень

1.3 Технологія поверхневого гартування струмом високої частоти

Поверхнєве зміцнення термічною обробкою може виконуватися під час нагрівання: індукційного - струмами високої частоти (СВЧ), електронно-променевого, лазерним променем, електроплазмового, електричною дугою або полум'ям газового пальника. Усі перераховані способи нагріву використовують висококонцентровані джерела тепла, які мають щільність потужності не менше 10^3 Вт/см^2 [6]. Така концентрація тепла забезпечує досягнення високих температур поверхні при досить низькій тривалості нагрівання, тобто глибинні шари виробу залишаються практично холодними.

Цей спосіб термічного зміцнення застосовується для деталей, що

працюють на зношення, тертя та при вигині, крученні, контактних напруженнях, а також циклічних навантаженнях. У результаті на поверхні утворюється шар із високою твердістю, міцністю при збереженні в'язкої серцевини. З усіх перерахованих способів нагріву найбільш поширеним є індукційний нагрів СВЧ. Так, на підприємствах автомобільного та сільськогосподарського машинобудування ~60 % деталей, що термічно зміцнюються, проходять гартування СВЧ [7].



а – розподіл магнітного потоку в індукторі; б - напрямок струмів в індукторі та деталі; 1 - деталь, що нагрівається; 2 - виток індуктора; 3 - магнітні силові лінії; 4 - напрямок струму в індукторі; 5 - напрямок струму в деталі.

Рисунок 1.1. Схема індукційного нагрівання.

Спосіб безконтактного індукційного нагріву СВЧ полягає в наступному – деталь, що нагрівається, поміщають в індуктор, який являє собою одно або багатовиткову котушку. Індуктор живиться перемінним електричним струмом високої частоти, при цьому всередині котушки створюється перемінне магнітне поле, яке взаємодіє з металом деталі, що нагрівається (рис. 1.1).

Відповідно до закону електромагнітної індукції в поверхневих шарах деталі виникає електрорушійна сила, тобто змінний струм тієї ж частоти, що й струм на індукторі. Відповідно до закону Джоуля-Ленца кількість тепла - Q може бути визначена за формулою:

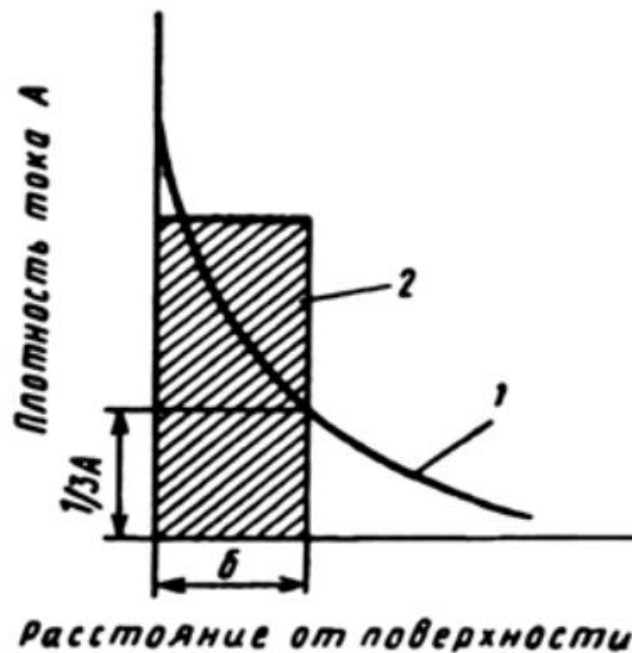
$$Q = I^2 R \tau, \text{ кДж} \quad (1.1)$$

де I - сила струму дорівнює 5000-8000 А,

R - опір матеріалу деталі, що нагрівається, Ом,

τ - час нагрівання, с

За рахунок теплової дії струму відбувається нагрівання деталі. Змінний струм розподіляється по перерізу деталі нерівномірно, зосереджуючись переважно в поверхневих шарах (поверхневий ефект, скінефект, рис. 1.2).



1 - дійсний розподіл; 2 - умовний розподіл; δ - глибина проникнення струму в деталь

Рисунок 1.2. Розподіл густини змінного струму по деталі, що нагрівається.

При цьому близько 87 % усієї теплової енергії виділяється в шарі,

вимірюваному глибиною проникнення струму - δ , яка обчислюється за формулою[7]:

$$\approx 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu}} - f, \text{ см}, \quad (1.2)$$

де ρ - питомий електроопір матеріалу деталі, ом/см,

μ - відносна магнітна проникність,

f - частота струму, Гц.

Під час нагрівання характеристики матеріалу ρ і μ змінюються, але це нерегульовані параметри, отже, для отримання необхідної глибини проникнення струму необхідно розрахувати його частоту, для сталей застосовується більш спрощена формула:

$$\delta \approx 5030 \sqrt{f} \quad (1.3)$$

Глибина загартованого шару - $\delta_{\text{гарт}}$ пов'язана з глибиною проникнення струму - δ такою формулою:

$$\delta_{\text{гарт}} \approx 0,5 \delta \quad (1.4)$$

Таким чином, під час індукційного нагрівання енергія джерела тепла виділяється безпосередньо в деталі, що нагрівається, що прискорює нагрівання висококонцентрованим джерелом тепла. При цьому час нагрівання складає від кількох до кількох десятків секунд.

Існують наступні методики гартування з використанням нагріву СВЧ:

1) одночасний нагрів і охолодження всієї поверхні; цей метод застосовують для виробів, що мають невелику поверхню, що зміцнюється (пальці, валики, осьові інструменти);

2) послідовний нагрів і охолодження окремих ділянок; цей метод використовують під час загартування шийок колінчастих валів (послідовний нагрів і загартування однієї шийки за іншою), зубчастих коліс із модулем

понад 6 (загартування "зуб за зубом"), кулачків розподільчих валів тощо;

3) безперервно-послідовний нагрів і охолодження; метод застосовують для загартування довгих валів, осей тощо; за цього методу виріб переміщається щодо нерухомих індуктора і охолоджувального пристрою (спрейєра), або навпаки. Порівняно з першим методом не потрібна велика установка потужність генератора.

Після гартування з нагрівом СВЧ вироби піддають низькому відпуску при 160 – 200 °С, нерідко – самовідпуску. В такому випадку при гартуванні охолодження проводять не до кінця, і в деталях зберігається певна кількість теплоти, що нагріває загартований шар до температури відпуску[8].

Маршрутна технологія при використанні поверхневого гартування струмами високої частоти може бути значно скороченою у при виробництві шестерень редуктора у порівнянні зі стандартною технологією виробництва, з використанням технологій ХТО. В таблиці 1.2 наведена схема спрощеної моделі маршрутної технології з використанням нагріву СВЧ [9].

Таблиця 1.1 – Маршрутна схема технології виробництва шестерень редуктора із застосуванням хіміко-термічної обробки

№ п/п	Назва операції	Ділянка, на якій виконується операція	Призначення операції
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів матеріалу
2	Вирізання заготовок	Заготівельний цех/ дільниця ковальською цеху	Отримання заготовки
3	Гаряче штампування	Ковальський цех	Надання необхідної форми
4	Попередня термічна обробка	Термічне відділення механічного або термічний цех	Надання матеріалу необхідних механічних властивостей для подальшої механічної обробки

Кінець таблиці 1.2

5	Механічна обробка	Механічний цех	Надання необхідної форми розмірів виробів заданих робочим кресленням
6	Гартування з нагрівом СВЧ	Термічний цех	Створення зміцненого шару за рахунок утворення на поверхні виробу пересиченого твердого розчину
7	Обробка холодом	Термічний цех	Охолодження виробів до температур, нижчих за 0 °С , з метою зменшення кількості залишкового аустеніту
8	Відпуск	Термічний цех	Термічна обробка виробів з метою зменшення напружень

Як видно з маршрутної технології (табл. 1.2) при використанні поверхневого гартування з нагрівом СВЧ, відпадає необхідність в частині технологічних процесів, які присутні при хіміко-термічній обробці. А саме: зникає необхідність у захисті необроблюваних ділянках деталей, адже обробка спрямована на конкретну зону термічного впливу; зникає необхідність у додатковому гартуванні після отримання зміцненого шару. Крім того при використанні деяких матеріалів також відпадає необхідність у додатковому відпуску, так як вже вказувалося раніше може відбуватися процес самовідпуску.

1.4 Характеристика матеріалів виробів

Під час вибору матеріалів і термічної обробки необхідно враховувати надійність, задану довговічність, найменшу масу і габаритні розміри редукторів, а також вимоги технології та економії виготовлення. Під час

розрахунку зубчастих передач основними характеристиками міцності матеріалу є: тимчасовий опір, межа плинності, межа витривалості, відносне подовження, ударна в'язкість і твердість.

Під час виготовлення шестерень редукторів можуть бути використані такі матеріали як сталь, чавун, бронзу і латунь. Для зниження маси і зменшення габаритних розмірів редукторів використовують великий асортимент марок сталей і застосовують різні методи термічної обробки. Сталі для зубчастих коліс, що піддаються термообробці до нарізування зубів, мають межу твердості від 250 до 330 одиниць за Брінелем. Верхня межа твердості встановлюється можливостями механічної обробки під час нарізування зубів. Необхідно враховувати глибину прогартуваності сталі, що важливо для міцності зубів на згин. ДСТУ 4543-71 визначає марки легованих конструкційних сталей і технічні вимоги за хімічним складом.

За механічними властивостями сталеві поковки поділяються на категорії міцності за ДСТУ 179-85. Категорії міцності визначають за межею плинності, а також встановлюють тимчасовий опір, відносне подовження, відносне звуження та ударну в'язкість залежно від діаметра поковки, а також твердість за Брінелем.

За умов звичайної термообробки при діаметрах до 200 мм використовують марки сталей: 35Х, 40Х, 45Х, 30ХГТ, 35ХГМ, 38ХМ, понад 200 мм: 40ХН, 30ХГСА, 38ХГН, 40ХН2МА, 38ХН3МА. Останні марки забезпечують глибшу прогартуваність й твердість у межах від 260 до 331 одиниці за Брінелем. Під час виготовлення литих зубчастих коліс використовують литі марки сталі третьої групи (для особливо відповідального призначення) за ДСТУ 977-75, найчастіше застосовують сталі марок: 35Л, 40Л, 35ХМЛ, 35ХГСЛ [10].

Сталі, що піддаються поверхневому зміцненню струмами високої частоти (СВЧ). Широко використовують поверхнєве зміцнення ТВЧ зубців і западини зубців шестерень із конструкційних сталей марок: 35, 40, 50, 40Х, 45Х, 38ХГН, 38ХМ, 38ХНМА.

В таблиці 1.3 наведено хімічний склад механічні властивості та максимальна товщина зміцнювального шару з використанням нагріву СВЧ деяких сталей, що можуть використовуватися для виготовлення шестерень редуктора[11].

Таблиця 1.3 – Сталі для шестерень редуктора, що піддаються поверхневому гартуванню з нагріванням струмом високої частоти.

Марка сталі	Хімічний склад, мас.%					Твердість загартованого шару після відпуску, HRC	Можлива глибина зміцненого шару, мм
	C	Si	Mn	Cr	Ni		
35	0,32 – 0,4	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	-	-	50 – 55	3
40	0,37 – 0,45	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	-	-	53 – 58	4
50	0,47 – 0,55	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	-	-	57 – 62	4
40X	0,35 – 0,45	-	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	-	54 – 59	6
45X	0,4 – 0,5	-	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	-	56 – 61	6
38ХГН	0,35 – 0,43	0,17 – 0,37	0,8 – 1,1	0,5 – 0,8	0,7 – 1,0	55 – 60	8
38ХМ	0,35 – 0,42	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	0,9 – 1,3	-	56 – 61	8
38ХНМА	0,33 – 0,4	0,17 – 0,37	0,3 – 0,5	0,8 – 1,2	0,7 – 1,0	57 – 62	8

Для загартування із застосуванням струмів високої частоти використовують конструкційні сталі, що широко використовуються в машинобудуванні для виготовлення деталей механізмів і конструкцій. У них вміст вуглецю не перевищує 0,5-0,6% і вони можуть бути як вуглецевими, так і легованими.

1.5 Постановка задача та мета дипломної роботи

Поверхнєве гартування з нагріванням струмом високої частоти, як технологічний процес, має ряд значних переваг, особливо у порівнянні з традиційними методами, що нині використовуються для виготовлення шестерень редуктора, таких як технології хіміко-термічної обробки, а саме цементація, нітроцементація або азотування.

Однією з ключових переваг є значно вища швидкість процесу, що визначається швидшим і більш ефективним нагріванням оброблюваної поверхні виробів. Це призводить до підвищення продуктивності виробництва, адже гартування СВЧ вимагає менше часу для завершення процесу порівняно зі звичайними методами. Крім того даний процес не потребує додаткового захисту поверхонь, що не потребують обробки.

Додатково, важливо відзначити, що поверхнєве гартування не потребує використання додаткових хімічних реагентів, які є носіями атомів зміцнювальних елементів. Це в свою чергу робить даний процес більш екологічно чистим та сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище.

Контроль температур при використанні нагрівання струмом високої частоти є дуже точним, що може бути ключовим аспектом для отримання точних характеристик матеріалу. Крім того, локальне нагрівання сприяє мінімізації спотворень форми виробів, що часто виникають під час застосування хіміко-термічних методів.

Енергоефективність індукційного гартування є іншою важливою перевагою, оскільки тепловий вплив спрямовується безпосередньо у матеріал, зменшуючи втрати та оптимізуючи споживану енергію. Крім того, гартування з нагрівом СВЧ може бути значно простіше автоматизовано та контролювано за допомогою передових технологій, що робить його сучасним та ефективним рішенням для виробництва.

Зважаючи на все це дослідження можливостей використання методів поверхневого гартування з нагріванням струмом високої частот є актуальним завданням для підвищення ефективності виробництва та спрощення отримання високоякісних виробів.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Хімічний склад та властивості матеріалу дослідження

В ході дослідження використовувалися зразки зі сплаву 30ХГТ. Даний сплав використовується для покращуємих та цементовних деталей, від яких вимагається висока міцність, в'язка серцевина і висока поверхнева твердість, а також який широко застосовується для виготовлення шестерень редукторів

Хімічний склад сплаву 30ХГТ наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву 30ХГТ [10]

Хімічний елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu
Вміст, мас. %	0,24 – 0,32	0,17 – 0,37	0,8 – 1,1	$\geq 0,3$	$\geq 0,035$	$\geq 0,035$	1,0 – 1,3	0,03 – 0,09	$\geq 0,3$

Твердість після стандартної технології термічної обробки наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Твердість сплаву 30ХГТ після стандартної технології термічної обробки

Режим термічної обробки	Глибина зміцненого шару	Твердість, HRC	
		Поверхні	Серцевини
Цементация 940 °С – 10 год; гартування 850 °С в маслі ≤ 100 °С; низький відпуск 180 °С	1,0 – 1,4 мм	56 – 62	35 – 45

2.2 Визначення механічних властивостей

2.2.1 Дослідження на циклічну міцність на згин

Під час роботи шестерні редуктора працюють під дією циклічних навантажень. В ході такого процесу відбувається утворення та зростання тріщин, що може спричинити пошкодження чи руйнування зразка. Даний процес є особливо небезпечним, через те що може відбуватися від напружень, рівень яких є значно меншим за границю міцності та плинності.

Границя витривалості – максимальне абсолютне значення напруження циклу, при якому за певну кількість циклів повторювань, не відбулося руйнування досліджуваного матеріалу [6].

Основною ціллю виконання випробувань на втому, є кількісна оцінка здатності матеріалу, що досліджується, працювати без втрати цілісності в умовах циклічних навантажень.

Для виконання кількісної оцінки границі витривалості необхідно досліджувати всю серію зразків, зазвичай не менше 15. Кожен зразок піддається випробуванню при конкретному значенні максимального напруження циклу або його амплітуди. Основною метою цих випробувань є визначення границі витривалості, їх класифікують як високоциклові втомні випробування.

2.2.2 Контактна витривалість

Контактна втома представляє собою процес кумуляції пошкоджень та розвиток руйнування поверхневих шарів металу під впливом змінних контактних напружень, що призводить до утворення ділянок викришування та тріщин. Для дослідження шестерні редуктора обрана схема навантаження

"кочення з просковзуванням", яку можна реалізувати за допомогою машини типу СМЦ-2 (див. рисунок 2.1).

Зразки виготовляються з матеріалу однієї марки сталі та однієї плавки. Технологічний процес виготовлення зразка повинен забезпечити подібність макро- та мікроструктури, а також твердості зразків. Допускається відхилення за твердістю зразків однієї партії на рівні $HRC \pm 0,5$. Поверхня зразків повинна бути очищена від слідів корозії, окалини, ливарних корок, тріщин, різних відтінків кольору та інших дефектів [4].

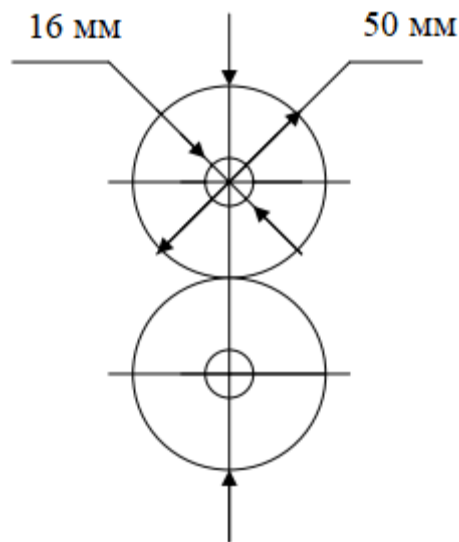


Рисунок 2.1 – Схема установки зразка та контртіла для випробувань на контактну втому

Підчас встановлення границі контактної втоми базова кількість циклів навантажень складає 10^8 . Основним критерієм, що отримується в процесі випробувань є комплекс ознак, що характеризують пошкодження, а саме тріщини, відшарування та ділянки викришування. За критерій контактної витривалості було прийнято два показники, а саме: руйнування поверхні диску (площа ділянки викришування складає від 2 до 6 мм^2) або зношення поверхні до 0,05 мм на зовнішній поверхні.

2.2.3 Дослідження зносостійкості

Методика дослідження на зношення моделюють потенційні умови роботи майбутніх виробів. Головною проблемою даних випробувань є неможливість порівняння отриманих результатів різними методами між собою. Дана проблема виникає через те що кожен тип досліджень реалізує різні механізми зношення або застосовуються різні зовнішні механічні фактори, що виконують моделювальну функцію робочого стану потенційного виробу.

У випадку дослідження матеріалу, що використовується для виготовлення шестерень редуктора використовують аналогічну схему, розглянуту для випробувань на контактну витривалість (рис. 2.1), а саме кочення з проковзуванням в умовах змащування.

Для даного дослідження виготовляють зразки, що мають наступні розміри: $d = 16$ мм, $D = 50$ мм. Контр тіло має аналогічні розміри.

В ході дослідження, до контртіла та зразка прикладаються навантаження близько 2000 Н. Допустимим є відхилення від заданого навантаження в 5 %.

2.3 Дослідження мікроструктури

Металографічні дослідження були проведені з використанням оптичного мікроскопа KERN OKO-1. Визначення хімічного складу поверхні дифузійних шарів, що утворилися на зразках, здійснювався за допомогою характеристичного рентгенівського випромінювання атомів, для цього використовувався енерго-дисперсійний рентгенівський спектрометр від фірми ThermoNoran. Мікроструктури були зафіксовані у цифровому форматі

за допомогою фотокамери AxioCam MRc5.

Для аналізу мікроструктури та вимірювання товщини отриманих дифузійних шарів було використано металографічний мікроскоп. Зразки були залиті акриловою смолою (DuracrylPlus) і потім піддавалися шліфуванню за допомогою шліфувального паперу зі зменшенням розміру зерна. Полірування шліфованих поверхонь проводилося з використанням алмазної пасти. Готові шліфи піддавались хімічному травленню у чотиривідсотковому розчині азотної кислоти в аліловому спирті.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Використання технологій нагріву струмами високої частоти може в значній мірі спростити процес виготовлення шестерень редукторів. Однак основним недоліком застосування такої технології в звичному розумінні, а саме для зміцнення поверхні майбутніх виробів методами поверхневого гартування має суттєвий недолік в порівнянні з сучасними методами хіміко-термічної обробки поверхонь шестерень, а саме нижчий рівень механічних властивостей. Проте переваги в меншій тривалості виконання термічної обробки та зменшення кількості відбракованих деталей за рахунок меншого ступеня короблення в процесі обробки спонукають шукати шляхи використання даної технології.

Зважаючи на це запропоновано комбінований метод хіміко-термічної обробки шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ.

3.1 Теоретичні засади перспектив використання нагрівання струмом високої частоти для цементації виробів

Температурний режим цементації складається з двох, іноді з трьох періодів. У перший період відбувається нагрівання деталей до заданої робочої температури. Температура в шахтних печах, в яких зазвичай виконується цементація на виробництві, спочатку падає на 100-200°C, оскільки піч деякий час залишається відкритою і в неї завантажуються холодні деталі, а потім відбувається підвищення температури до необхідної. Другий період відповідає витримці при робочій температурі процесу, яка за весь період залишається незмінною. Після закінчення витримки, якщо

здійснюють безпосереднє гартування деталей, настає третій період - підстужування до температури гартування.

Головний фактор температурного режиму цементації - робоча температура процесу. За сучасними технологіями цю температуру встановлюють в інтервалі 900 - 1000°C. З підвищенням температури швидкість цементації різко збільшується. Тому вчені та виробничники вишукують можливості підвищення температури процесу. При цьому виникають такі труднощі: погіршення механічних властивостей металу внаслідок зростання зерна при високій температурі і зниження стійкості обладнання та пристосувань. Крім цього, можливі й інші труднощі, наприклад збільшення деформації деталей під дією високої температури.

На рис. 3.1 показано вплив температури на глибину цементованого шару за різної тривалості процесу. У разі цементації на глибину шару 0,5 – 3 мм підвищення температури від 900 °C до 1000 °C більше ніж у двічі прискорює процес [12].

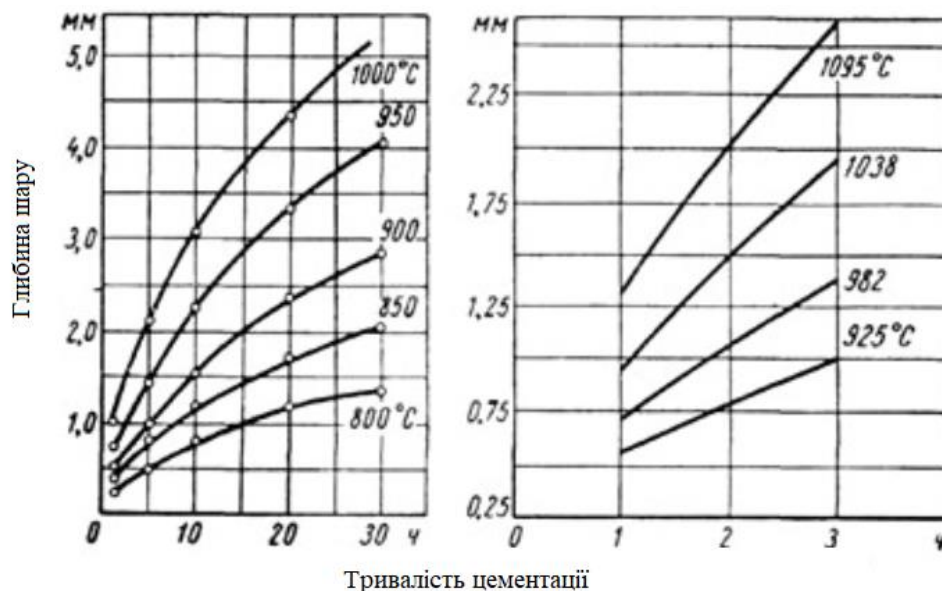


Рисунок 3.1 Вплив температури нагріву на швидкість процесу цементації

У випадку використання запропонованої технології цементації за

допомогою нагрівання СВЧ температура процесу обробки може зрости до 1100°C. Таку цементацію умовно можна вважати високотемпературною.

Підвищення температури цементації викликає збільшення межі розчинності вуглецю в аустеніті. Як показує практика, це не призводить до пересичення цементованого шару вуглецем, оскільки з підвищенням температури швидкість дифузії зростає швидше, ніж швидкість поверхневої адсорбції вуглецю.

У результаті, в цементованому шарі після високотемпературної цементації буде більш сприятливий розподіл вуглецю: помірна концентрація його на поверхні і більш плавний перехід від поверхні до серцевини.

Довгий вважалось недоцільним підвищення температури цементації через зростання зерна сталі і зниження у зв'язку з цим механічних властивостей. За сучасного технічного рівня виробництва сталей це уявлення застаріло більшою мірою завдяки розширенню застосування технологій нагріву СВЧ. Промисловістю поступово освоєно випуск нових марок легованих сталей, що мають стійкість проти зростання зерна аустеніту.

Переважно це сталі, в яких є елементи, що дають важкорозчинні карбіди (титан, ванадій, цирконій, вольфрам, молібден). Особливо сильний вплив має алюміній, який зараз широко застосовують для регулювання величини зерна аустеніту в сталі.

Затримуючий вплив легуючих елементів на ріст зерна проявляється лише тільки до певної температури (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Температури, за яких відбувається зростання зерна цементованих сталей

Марка сталі	Температура, °C	
	Початку росту зерна	Інтенсивного росту зерна
20	900	950 – 1000
12X2H4A	950	1000 – 1050
18ХГТ	1000	1050 – 1100
30ХГТ	1000	1050 – 1100

У вуглецевих сталях зростання зерна аустеніту починається безпосередньо після його утворення. Тому укрупнення зерна спостерігається не тільки після високотемпературної, а й після звичайної цементації. Однак не можна беззастережно рекомендувати високотемпературну цементацію для вуглецевих сталей, тому що наслідки перегріву можуть у них проявитися в більш складних умовах навантаження під час експлуатації (особливо при низькій температурі) або навіть за жорсткіших методів випробувань, наприклад, під час випробування на розрив надрізаних зразків або визначенні ударної в'язкості при низьких температурах.

З легованих сталей найменш схильними до зростання зерна і тому найбільш придатними для комбінованої цементації з нагріванням струмом високої частоти є марки 18ХГТ, 30ХГТ, 15ХГНТА, 12ХН3А та ін. Термічну обробку даних сплавів за допомогою запропонованої технології можна проводити при температурі 1000 °С і вище.

3.2 Розробка нової технології процесу термічної обробки шестерень редуктора

3.2.1 Розробка маршрутної технології нового методу зміцнення поверхні шестерень редукторів

Під час високотемпературної цементації спадково дрібнозернистих сталей дещо збільшуються розміри зерна. Однак у результаті подальшої правильно проведеної термічної обробки в цих сталях не спостерігається погіршення механічних властивостей порівняно з цементацією за звичайної температури. Наприклад, за високотемпературної цементації сталі типу 18ХГТ перед загартуванням проводять рівномірне по всьому об'єму деталі підстужування до температури 820-850°С. Деталі зі сталі 12ХН3А після високотемпературної цементації потрібно піддавати загартуванню з

повторного нагріву; в іншому разі не буде забезпечена необхідна дрібнозернистість [13].

Нова технологія цементації з застосуванням нагріву СВЧ може спричинити підвищене короблення деталей, оскільки:

1. З підвищенням температури зменшується опір металу деформації і викривлення може відбуватися під дією власної ваги або ваги інших деталей, при цьому велике значення має система укладання або підвішування деталей у печі.
2. Під час нагрівання та охолодження з більш високих температур у деталях виникає значний рівень внутрішні напруження, що спричиняє суттєві деформації.

Повторні нагрівання також збільшують викривлення. З цієї точки зору гартування деталей краще проводити з цементаційного нагріву з попереднім підстужуванням. Зниження інтенсивності охолодження в гартівній рідині також сприяє зменшенню викривлення. У цьому випадку може бути корисним гартування в гаряче масло.

Під час цементації великих деталей підвищене викривлення викликається нерівномірністю розподілу температури в печі під час нагрівання садки. Наприклад, у шахтних печах різниця температури в центрі і біля стінок досягає 50-100°C [14]. Під час високотемпературної цементації в звичайних умовах нерівномірність нагріву ще більша. Тому проведення нагріву майбутніх під цементацію з використанням струмів високої частоти необхідно проводити в заневоленому стані.

Зважаючи на все вище сказане запропонована наступна маршрутна технологія для виготовлення шестерень редуктора зі сталі 30ХГТ з використанням комбінованого методу цементації з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Маршрутна схема технології виробництва шестерень редуктора зі сталі 30ХГТ із застосуванням комбінованого методу цементації з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ

№ п/п	Назва операції	Ділянка, на якій виконується операція	Призначення операції
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів матеріалу
2	Вирізання заготовок	Заготівельна дільниця ковальською цеху	Отримання заготовки
3	Гаряче штампування	Ковальський цех	Надання необхідної форми
4	Попередня термічна обробка	Термічне відділення механічного	Надання матеріалу необхідних механічних властивостей для подальшої механічної обробки
5	Механічна обробка	Механічний цех	Надання необхідної форми розмірів виробів заданих робочим кресленням
6	Захист ділянок заготовки, які не потребують цементації	Термічного цеху	Нанесення захисних паст на поверхні, що не піддаються цементації

Кінець таблиці 3.2

7	Цементация з нагріванням поверхні зубців СВЧ	Хіміко-термічна дільниця термічного цеху	Насичення поверхні виробів вуглецем та азотом
8	Гартування з температури цементации	Термічний цех	Термічна обробка, метою якої є отримання структури мартенсит
9	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Надання виробу кінцевих розмірів та чистоти поверхні за робочими кресленнями
11	Низьки відпуск	Термічний цех	Термічна обробка виробів з метою зменшення напружень

3.2.2 Розробка режимів термічної обробки

Технологія термічної обробки включає в себе комплекс процесів, які застосовуються для зміни мікроструктури та властивостей матеріалів за допомогою контрольованого нагрівання і охолодження. Ці процеси можуть використовуватися для поліпшення твердості, міцності, витривалості та інших характеристик матеріалів.

Розробка технології термічної обробки включає в себе системний інжиніринговий підхід для створення ефективного та оптимального процесу термічної обробки матеріалів. Основні етапи розробки такої технології можуть виглядати наступним чином:

1. Визначення ключових та допоміжних етапів технологічного процесу. Основні кроки термічної обробки повинні бути оптимізованими для досягнення високої продуктивності та раціонального використання

матеріальних та енергетичних ресурсів, при цьому головний акцент робиться на забезпеченні високої якості продукції.

2. Розроблення оптимальних режимів проведення основних та допоміжних етапів термічної обробки.

3. Створення засобів для виконання технологічних операцій з метою забезпечення високої якості оброблюваних виробів.

4. Вибір необхідного обладнання, засобів механізації, допоміжних пристроїв та приладів для забезпечення ефективності та точності процесу.

5. Розробка контрольних процедур та операцій для забезпечення якості виробів під час термічної обробки.

3.2.2.1 Розробка температурних режимів нової термічної обробки

За стандартною технологією цементація сталі 30ХГТ проводиться в температурному інтервалі існування γ -заліза, тобто аустеніті. Це пов'язано з підвищеною розчинністю вуглецю в порівнянні з α -залізом (феритом). Температура цементації при традиційній обробці складає 940 °С, а час отримання науглецьованого шару товщиною 1 мм складає близько 10 годин. Як видно з графіка на рисунку 3.1 підвищення температури цементації до 1000 °С скоротить час технологічної операції майже вдвічі [15]. З використанням стандартної технології при виконанні цементації при підвищеній до 1000 °С температурі є високий ризик збільшення розміру зерна через відносно високу ступінь інерційності використовуваного нині обладнання.

Завдяки використанню технологій індукційного нагріву поверхні виробу СВЧ можна доволі точно контролювати температуру оброблюваної поверхні. Тому в запропонованому варіанті було цементацію проводили при температурі 1000 °С.

Завдяки тому глибина шару, що нагрівається чітко контролюється частотою струму, а нагрівання серцевини залежить тільки від теплопровідності самого матеріалу при повільному охолодженні до температури гартування, а саме 850°C , глибина зміцненого шару навіть при достатньо високому вуглецевому потенціалі майже не змінюється. Тому доцільно виконувати гартування одразу з температури цементації після невеликого підстужування. Охолоджувальне середовище підігріте масло до температури 100°C [17]. Остаточною термічною обробкою є низький відпуск при температурі близько 180°C . Дана операція має на меті зниження рівня залишкових напружень і перехід мартенситу гартування в мартенсит відпуску. Структура яку матиме поверхня виробу в результаті такої термічної обробки буде складатися з мартенситу відпуску, карбідів і залишкового аустеніту. Графік запропонованої термічної обробки наведено на рисунку 3.2.

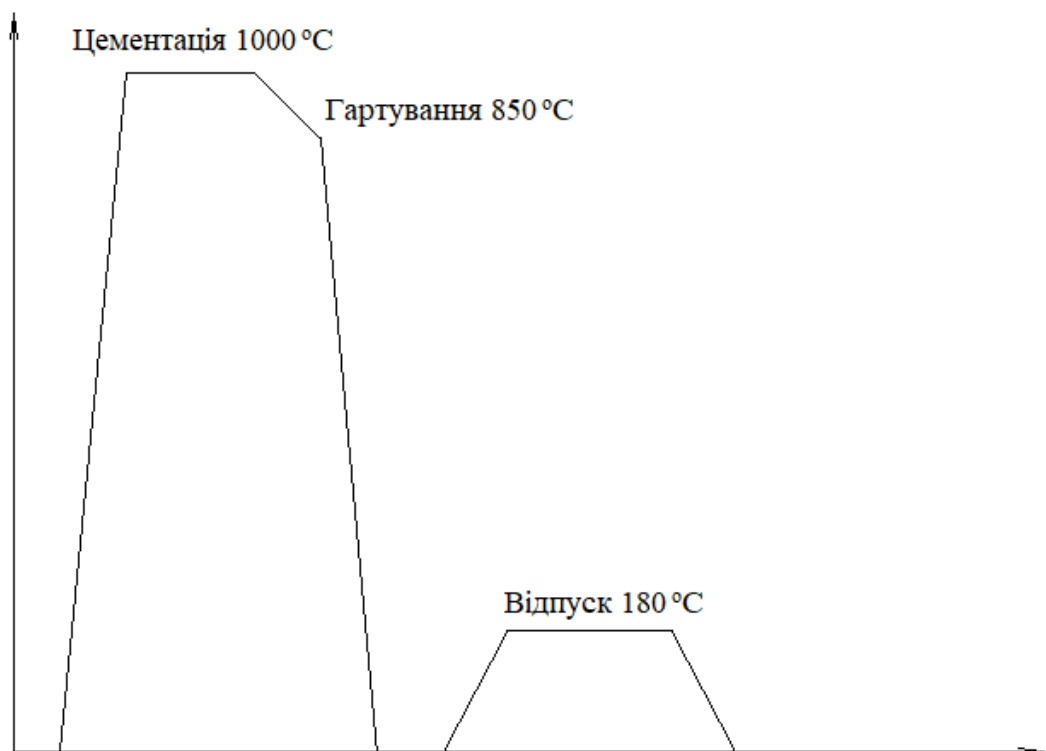


Рисунок 3.2 – Графік нової технології термічної обробки шестерень редуктора зі сталі 30ХГТ

3.2.2.2 Розрахунок часу термічної обробки для запропонованої технології комбінованої цементації шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ

Час термічної обробки визначається як сума тривалості всіх операцій технології.

Розрахунок часу нагрівання під цементацію за пропонованої технології розраховується згідно форми 1.1 наступним чином:

$$\begin{aligned}\tau_{\text{нагр}} &= Q / (I^2 \cdot R), \text{ с} \\ \tau_{\text{нагр}} &= 1453 / (7000^2 \cdot 15 \cdot 10^{-3}) = 20 \text{ с}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Час витримки згідно графіку на рис. 3.1 складає 4 години.

Тривалість розвантаження та завантаження тзр складає 30 хв.

Час підстиження $\tau_{\text{підс}}$ з температури цементації до температури гартування визначаємо:

$$\tau_{\text{підс}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}},\tag{3.2}$$

де $t_{\text{п}}$ – температура, від якої розпочинається охолодження виробів,
 $t_{\text{п}} = 1000^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура охолодження, $t_{\text{к}} = 850^{\circ}\text{C}$;

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження з піччю $60^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

$$\tau_{\text{підс}} = (1000 - 850) / 60 = 2 \text{ год } 30 \text{ хв}$$

Після підстижування виконують операцію гартування:

$$\tau_{\text{ох}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}},\tag{3.3}$$

де t_{Π} – температура, від якої розпочинається охолодження виробів,
 $t_{\Pi} = 850^{\circ}\text{C}$;

t_{κ} – кінцева температура охолодження, $t_{\kappa} = 20^{\circ}\text{C}$;

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження в підігрітому маслі 35°C/хв .

$$\tau_{\text{ох}} = (850 - 20) / 35 = 24 \text{ хв}$$

Тоді загальний час цементації і гартування визначається за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{нагр}} + \tau_{\text{підс}} + \tau_{\text{витр}} + \tau_{\text{ох}} + \tau_{\text{зв}} \quad (3.4)$$

Тоді сумарний час цементації і гартування:

$$\tau_{\text{заг}} = 20 + 7230 + 14400 + 1440 + 1800 = 24890 \text{ с} \approx 7 \text{ год}$$

Низький відпуск (температура $180 \pm 10^{\circ}\text{C}$).

Тривалість нагрівання розраховується по формулі:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{спл}}, \quad (3.5)$$

де S — характеристичний розмір виробу, який дорівнює напівтовщини шестерні $22/2 = 11 \text{ мм}$ [справочник по механике];

k - коефіцієнт форми, $k=2$;

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, $f=1,4$;

$L_{\text{спл}}$ - коефіцієнт легування сталі $L_{\text{спл}} = 2,15 \text{ хв/мм}$ [16].

$$\tau_{\text{н}} = 11 \cdot 2 \cdot 1,4 \cdot 2,15 = 66,22 \text{ хв} = 3733 \text{ с}$$

Час витримки при низькому відпуску згідно довідника складає 3 години.

Тривалість розвантаження та завантаження $\tau_{\text{скл}}$ складає 30 хв.

Розрахунок тривалості охолодження $\tau_{\text{ох}}$ при низькому відпуску:

$$\tau_{\text{ох}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}}, \quad (3.6)$$

де $t_{\text{п}}$ – температура, від якої розпочинається охолодження виробів, $t_{\text{п}} = 300^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура охолодження, $t_{\text{к}} = 20^{\circ}\text{C}$;

$V_{\text{ох}}$ – рекомендована для виробу швидкість охолодження на повітрі $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

$$\tau_{\text{ох}} = (180 - 20) / 5 = 32 \text{ с}$$

Загальний час низького відпускання становить:

$$\tau_{\text{заг}} = 3733 + 10800 + 180 + 32 = 14745 \text{ с} = 4,1 \text{ год.}$$

3.2.3 Вихідний контроль, попередження та виправлення браку

Кожен етап термічної обробки вносить свій вклад в якість отримуваних виробів. Контроль вхідних матеріалів, якості виконаних процесів термічної обробки, а також готових виробів є важливим аспектом отримання високоякісної продукції.

Вхідний контроль виконується з метою:

1. Встановлення відповідності матеріалу до встановлених технічних вимог;

2. Виявлення дефектів матеріалу, встановлення їх причин та ступінь їх впливу на властивості;

3. Попередження використання невідповідного, або дефектного матеріалу при виготовленні продукції.

Існують наступні види вхідного контролю:

1. Візуальний огляд (з можливістю застосування приладів малого збільшення);

2. Встановлення хімічного складу;

3. Встановлення механічних властивостей;

4. Дослідження мікро- та макроструктури.

У випадку коли вхідний контроль встановлює невідповідність сировини до технічних вимог за одним або кількома параметрами якості, даний матеріал повертається постачальнику і встановлюються штрафні міри у встановленому порядку.

Брак, що виникає під час термічної обробки, може бути результатом наявності дефектів, які мають чисто металургійне походження (ліквація, усадкові раковини), або дефектів, що виникають внаслідок гарячої або холодної пластичної деформації, а також порушень у технології термічної обробки.

Оцінка якості термічної обробки може базуватися на мікроструктурі металу, механічних, фізичних, технологічних та інших спеціальних властивостях матеріалу.

Технічний контроль передбачає не лише перевірку якості термічної обробки, але й нагляд за дотриманням технологічних параметрів на всіх етапах оброблення. Це включає в себе вимірювання тривалості та температури окремих операцій за допомогою термопар (розташованих в різних точках печі для фіксації змін у роботі нагрівальних печей), а також контроль складу атмосфери. Під час моніторингу температурних режимів за допомогою спеціальних приладів важливо відзначити інтервали часу, протягом яких фіксуються показники цих параметрів.

Підлягає періодичному контролю правильність розташування виробів під час завантаження, рівномірність прогрівання садки та температура рідини для гартування. Відповідність мікроструктури та розміру зерна технічним вимогам перевіряється за допомогою металографічного аналізу, для якого існують відповідні державні стандарти, еталони та шкали.

Лінійні розміри перевіряються за допомогою вимірювального обладнання, такого як лінійки та штангенциркулі. Для виявлення дефектів, які можуть бути невидимі візуально, ефективно використовувати методи магнітної дефектоскопії.

Оскільки термічна обробка може призводити до виникнення різноманітних видів браку, важливо вживати профілактичні заходи для їх запобігання та вживати відповідні заходи за для виправлення дефектів, якщо це є можливим.

При цементації виробів важливим завданням є контроль вуглецевого потенціалу середовища. Для цього використовується датчик у вигляді тонкого сталевого дроту, який піддається науглецюванню в газовому середовищі печі. Зміна електроопору дроту вказує на ефект науглецювання і передається на контрольно-регулюючу частину приладу, яка активує дозатор для регулювання витрати карбюризатора. Контроль атмосфери спостерігається на всіх етапах термічної обробки.

Основними критеріями за якими оцінюють якість виробів після цементації є:

1. Товщина науглецьованого шару, яка встановлюється за допомогою дослідження мікро- і макроструктури зразків свідків або по розподілу твердості;
2. Твердість поверхні (зміцненого шару);
3. Твердість серцевини.

Для виявлення поверхневих тріщин, які не видно при візуальному огляді, на виробах без їх пошкодження широко використовують методи неруйнівного контролю, такі наприклад, як магнітна дефектоскопія.

В таблиці 3.3 наведені найчастіші види дефектів, які можуть виникнути в процесі цементації шестерень редуктора.

Таблиця 3.3 – Види дефектів шестерень редуктора

№ п/п	Дефект	Можливі причини виникнення	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Хіміко-термічна обробка (цементация)				
1	Занижена (завищена) глибина дифузій ного шару	недостатня (перевищена) температура та тривалість витримки	контроль та регулювання температури та часу витримки на технологічному рівні	при недостатньому шарі виконується повторна повторна ХТО; при завищеному шарі цей дефект не може бути виправленим
		низький (перевищений) вуглецевий потенціал робочого середовища	постійне регулювання вуглецевого потенціалу робочого середовища	
		окислені або забруднені окремі поверхні виробу	ретельне очищення поверхні виробів до ХТО	

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
2	Неоднорідна товщина науглецьованого шару	наявність забруднених поверхонь	ретельне очищення поверхні виробів до ХТО	у випадках, коли не досягнена необхідна глибина шару можна здійснити повторну ХТО.
		порушення роботи циркуляційний вентилятор	експлуатація та контроль роботоздатності обладнання	
		невідповідна швидкість руху робочого середовища	регулювання правильного режиму роботи циркуляційного вентилятора;	
		утворення при цементациі окалини (через високий вуглецевий потенціал робочого середовища)	динамічне регулювання вуглецевого потенціалу середовища.	
3	Утворення великої кількості грубих карбідів	низька температура цементациі	цементация при підвищених температурах;	здійснити знеуглецювання, якщо глибина шару дозволяє.
		високий вуглецевий потенціал робочого середовища	регулювання вуглецевий потенціал робочого середовища;	

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
		цементация сталей з карбідо-утворювачами елементами (Cr, Mo,W,V)	при можливості застосовувати менш легovanі сталі.	
4	Високий рівень крихкості дифузійного шару	наявність зайвих фаз	регулювання активності робочого середовища для досягнення оптимального вмісту елемента, що дифундує	зневуглецюван ня
		недостатня глибина шару		
		знижена твердість серцевини.		
Закріплення науглецьованого шару (гартування)				
1	Занижена твердість	невірно обране охолоджу-вальне середовище;	раціональний вибір гартівного середовища	повторне гартування в раціональному середовищі
		низька температура гартування.	використання раціональних температурних режимів гартування	повторне гартування за температурних режимів температур.
2	Гартівні тріщини	нагрівання з підвищеними швидкостями завдяки яким виникає великий перепад температур за товщиною виробу	використання технології ступінчатого нагрівання;	невиправний дефект

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
		різке охолодження із завищеною швидкістю	використання раціональних гартівних середовищ	
3	Деформація виробів	нераціональне розміщення виробів в садці	розробка раціональної схеми садки гартівного пристрою	рихтування, термічна обробка виробів
		завищені температурні режими гартування та невідповідна швидкість охолодження	використання гартівних машин, пресів (охолодження в заневоленому стані);	відпал і повторне гартування
			гартування від підвищених температур із метою збереження підвищеного вмісту аустеніту залишкового	використання обробки холодом з метою регулювання розміру виробів, регулювання деформації
4	Завищений розмір аустенітного зерна	перевищена температура гартування;	термічна обробка за оптимальним режимом	повторна термічна обробка
		перевищений час витримки		

Кінець таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Відпуск				
1	Завищена твердість	занижений температурний режим	виконання обробки за оптимальним режимом	повторне відпускання при підвищених температурах
		занижений час відпуску		
		використання матеріалів з підвищеною теплостійкістю	використання раціонального матеріалу	
2	Занижена твердість	занижений температурний режим	виконання обробки за оптимальним режимом	відпал з наступним гартуванням і відпуск при раціональних температурах та витримках
		занижений час відпуску		використання обробки холодом
		завищена кількість аустеніту залишкового		

3.3 Отримані результати

Результатом дослідження стала технологічно стабільний комбінований метод цементацій шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ.

Основними перевагами запропонованої технології в порівнянні з традиційними способами цементації є:

1. Майже вдвічі менший час, що витрачається на повний цикл термічної обробки (до 11 годин проти ≥ 20 годин за традиційними методами);
2. Виключення можливості утворення певних видів дефектів (окалини, неоднорідність зміцненого шару і т.д.)
3. Вищий рівень контролю технологічних параметрів (температура, глибина науглецьованого шару)
4. Простіша автоматизація процесу.

Дослідження мікроструктури показали, якість процесу цементації має достатньо високий рівень – на рівні з традиційною технологією. Завдяки більш високому контролю параметрів технологічного процесу ступінь відтворюваності результатів проведення цементації за новою технологією значно вищий. Мікроструктура отриманого завдяки комбінованого методу цементації зміцненого шару наведена на рис. 3.3.

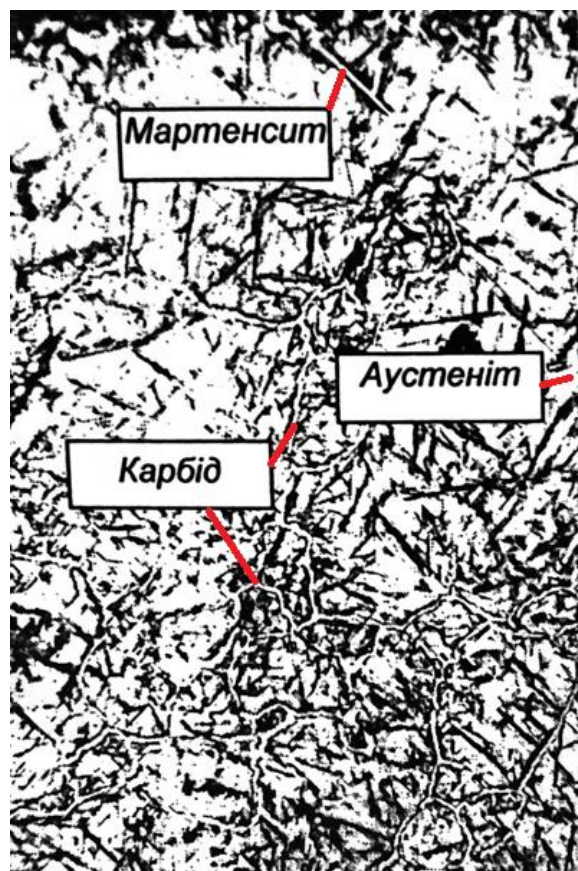


Рисунок 3.3 Отримана за новою технологією структура зміцненого зубця шестерні редуктора зі сплаву 30ХГТ

При порівнянні механічних властивостей науглецьованого шару після цементації за класичною технологією і запропоновано суттєвої різниці не виявлено. Спостерігалось певне підвищення твердості поверхні 58 – 63 HRC при застосуванні нової методики в порівнянні з 57 – 62 при класичній методиці. Дана зміна може пояснитися біль повним розчиненням вуглецю в структурі аустеніту перед гартуванням, однак різниця не є суттєвою.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій

Розвиток промисловості несе за собою необхідність підвищення ефективності технології виробництва. Одним з найважливіших технологічних процесів при виготовленні шестерень редуктора, до яких висуваються підвищені вимоги до зносостійкості, є підвищення міцності та зносостійкості поверхні їх зубців. Існують декілька принципово відмінних технологічних рішень які можуть використовуватися для підвищення рівня зносостійкості майбутніх деталей, а саме газова цементація, цементація в твердому карбюризаторі, цементація в рідкому карбюризаторі, нітроцементація і гартування поверхневих шарів матеріалу струмом високої частоти.

Вагомим фактором підвищення прибутків є зменшення витрат на виробництво продукції. Використання методів хіміко-термічної обробки пов'язано з виникненням додаткових витрат на речовини, що є носіями насичувальних елементів. Скорочення термінів проведення цього процесу завдяки застосуванню технології поверхневого гартування СВЧ зменшує ці витрати вдвічі. Тому розробка можливостей застосування нової комбінованої технології цементації шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ є нагальною задачею, яка не тільки допоможе раціонально використовувати виробничі ресурси, зменшити необхідність людського втручання, а й підвищити ефективність роботи обладнання.

Передовими країнами що використовують у своєму виробництві методи цементації і гартування з нагрівом СВЧ є Китай, Японія, Німеччина, Італія, Франція, Україна. Серед країн, що розвиваються - Індія, Бразилія, Мексика, Південна Корея та ін.

В таблиці 4.1 викладене уявлення про зміст ідеї та потенційні ринки, в межах яких можуть бути знайдені майбутні клієнти.

Таблиця 4.1 – Опис основної ідеї дипломного проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувачів
Основна ідея проекту полягає в розробці нової комбінованої технології цементації шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ	Виробництво шестерень редукторів, зменшення витрат на виготовлення та підвищення ефективності виробництва	зменшення витрат на виготовлення
		підвищення ефективності виробництва
		автоматизація виробництва

В таблиці 4.2 викладені результати попереднього аналізу характеристик потенційного ринку.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Головними конкурентами нової технології цементації є існуючі технології цементації в рідкому чи твердому карбюризаторі, сучасні розробки (іонна, плазменна цементації) та інші.
2	Динаміка ринку	Щорічне підвищення об'ємів продукції з використанням цементованих деталей свідчить про позитивну динаміку ринку (тобто ринок зростає)

Кінець таблиці 4.2

3	Наявність обмежень для входу	Головними чинниками, що обмежують можливість виходу на ринок є: - фінансове – необхідність грошових вливань на модернізацію обладнання і інших витрат; - матеріальне – необхідність у високоякісних вихідних матеріалах (сировині); - кадрове – необхідність у спеціалістах котрі зможуть підтримувати виробничий процес на високому рівні.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Обладнання, що буде використовуватися на виробництві має пройти сертифікацію. Крім того робочі місця мають відповідати вимогам техніки безпеки та охорони праці. Вироби мають відповідати висунутим вимогам.

Карта стейколдерів – це інструмент, що допомагає визначити, яким чином лідер компанії чи проекту може впливати на зацікавлені сторони. Важливим аспектом при складанні карти стейкохлдерів є включення всіх відносин, за допомогою яких компанія може впливати на людей інші компанії або, навпаки, люди можуть чинити вплив на підприємство та його діяльність.

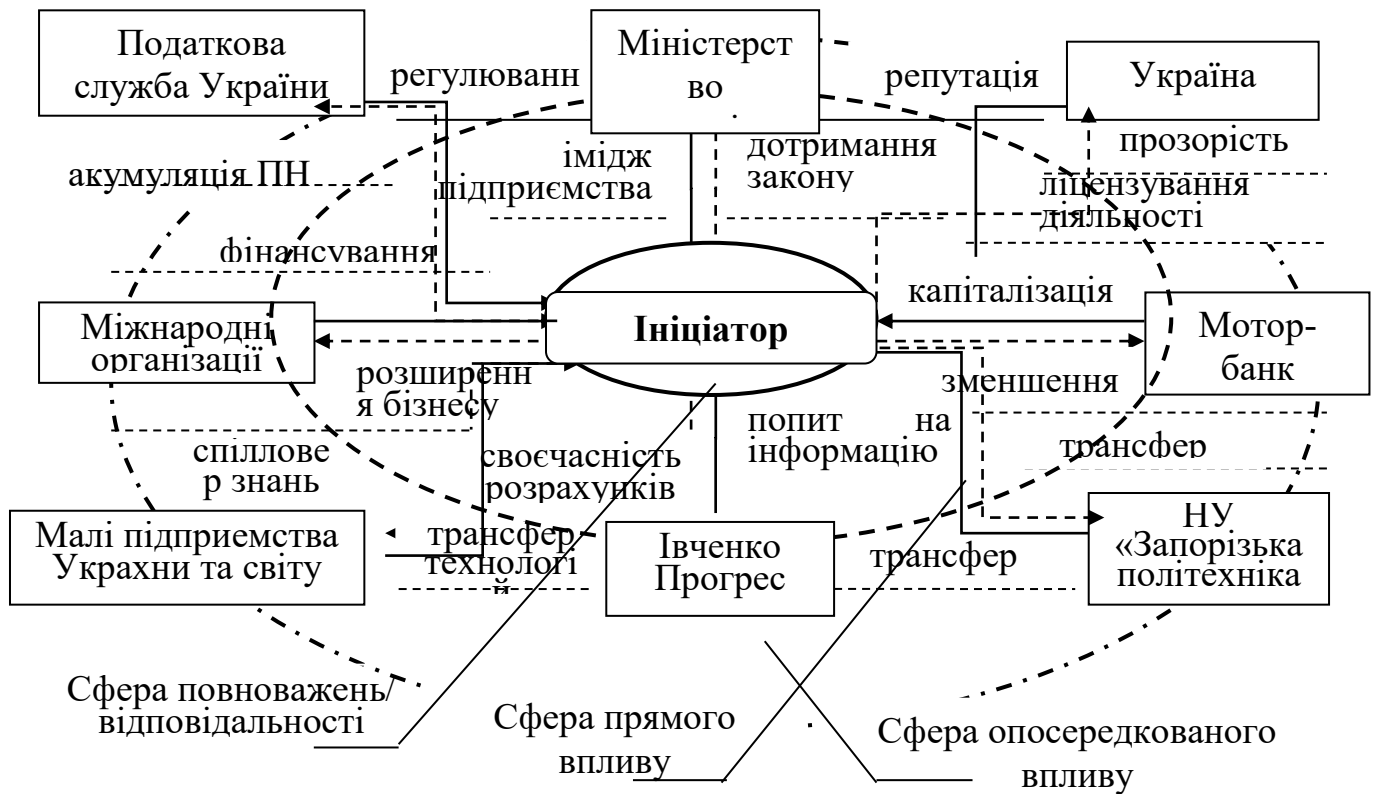


Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою даного розділу є економічне обґрунтування доцільності застосування комбінованої технології цементації шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ. В таблиці 4.3 наведені техніко-економічні показники виробів.

Вартість сировини та основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базова технологія	Іновація
1. Шестерні редуктора з легованої конструкційної сталі 30ХГТ	Стандартна газова цементация	Комбінована технології цементации шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ
2. Програма випуску, шт	18000	36000

До складу витрат на виконання науково-дослідної роботи включається вартість всіх ресурсів, які необхідні для реалізації комплексу робіт.

Визначаємо витрати на оплату праці з урахуванням робочого часу одного працівника (таблиця 4.4, 4.5), визначаємо суму ЄСВ.

При виробництві деталей з низьколегованих конструкційних сталей застосовуються потужності плавильної дільниці, дільниці токарної обробки, поверхневої обробки, хіміко-термічної дільниці та травлення. Таким чином формується собівартість безпосередньо перед передачею в складальний цех, де здійснюється вузла складання.

Таблиця 4.4 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн	Ефективний фонд робочого часу, год	Тарифний заробіток, грн	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн	Річний фонд заробітної плати, тис. грн	ЄСВ, тис. грн
	За зміну	На добу							
Виробничі працівники у тому числі: Основні працівники	30	45	40,52	190	346446,0	30	103933,8	450379,8	76218,1
Допоміжні працівники	20	25	36,50	198	180675,0	30	54202,5	234877,5	39748,5
Черговий та ремонтний персонал	15	20	42,10	206	173452,0	30	52035,6	225487,6	38159,4
Разом виробничих працівників	65	90	-	Всього	700573,0	-	210171,9	910744,9	154126,0

Таки чином фонд заробітної плати основних працівників з урахуванням преміальних виплат складає 910744,9 грн, тобто 50,6 грн. на одну деталь. Сума ЄСВ встановлена на рівні 22% від тарифного заробітку. Сума ЄСВ становитиме 154126 грн., тобто 8,56 грн на одиницю продукції.

Визначаємо склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу (табл. 4.5). Розраховуємо загальний посадовий оклад як добуток тарифу та 10% від річного фонду часу (186 годин) відповідної кількості працівників.

Таблиця 4.5 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу.

Посада	Паявна кількісні осіб	Загальний посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Загальний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7
Начальник цеху	1	17093,4	20,0	3418,7	20512,1	3760,6
Заступник	2	29760,0	20,0	5952,0	35712,0	6547,2
Керівник груп	5	51708,0	20,0	10341,6	62049,6	11375,76
Майстри дільниць	5	42408,0	20,0	8481,6	50889,6	9329,76
Керівник ПДБ	1	11346,0	20,0	2269,2	13615,2	2496,1
Керівник ТБ	1	11904,0	20,0	2380,8	14284,8	2618,9
Керівник ФЕУ	1	10230,0	20,0	2046,0	12276,0	2250,6
Керівник БВ	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2
Керівник БТЗ	1	9858,0	20,0	1971,6	11829,6	2168,8
Керівник ВТК	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2
Механік цеху	1	9858,0	20,0	1971,6	11829,6	2168,8
Енергетик	1	9114,0	20,0	1822,8	10936,8	2005,1

Продовження таблиці 4.5.

1	2	3	4	5	6	7
Робітники ПДБ	3	22096,8	20,0	4419,4	26516,2	4861,3
Робітники ТБ	5	39060,0	20,0	7812,0	46872,0	8593,2
Робітники ФЕУ	2	15810,0	20,0	3162,0	18972,0	3478,2
Робітники БО	2	16963,2	20,0	3392,6	20355,8	3731,9
Робітник БТЗ	2	14359,2	20,0	2871,8	17231,0	3159,0
Керівник лабора- торії	5	55800,0	20,0	11160,0	66960,0	12276,0
Керівник відділу УК	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2
Робітник УК	2	16740,0	20,0	3348,0	20088,0	3682,8
Головний інженер	1	15047,4	20,0	3009,5	18056,9	3310,4
Констру- -ктор	1	14061,6	20,0	2812,3	16873,9	3093,6
Майстер КБ	5	54498,0	20,0	10899,6	65397,6	11989,6
Головний металург	1	15177,6	20,0	3035,5	18213,1	3339,1
Головний метролог	1	11122,8	20,0	2224,6	13347,4	2447,0

Кінець таблиці 4.5.

1	2	3	4	5	6	7
Старший метролог	1	9653,4	20,0	1930,7	11584,1	2123,7
Головний технолог	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2
Майстер контролер	5	7179,0	20,0	1435,8	8614,8	1579,4
Всього	68	632566,8	-	126513,4	759080,2	139164,7

Таким чином, річний фонд заробітної плати адмінперсоналу складатиме 759080,2 грн. з урахуванням преміальних виплат, тобто 42,17 грн. на одиницю виробу. Сума ЄСВ для адміністративних працівників на рік становитиме 139164,7 грн, тобто 7,73 грн на одну деталь. Загальний ЄСВ становить 16,29 грн на одну деталь або 293290,7 грн.

Розраховуємо матеріальні витрати на виконання річної виробничої програми виготовлення шестерень редуктора.

Річна програма випуску розглядаємих деталей складає 180000 шт за стандартною технологією і вдвічі більше за новою. За наявною у публічному доступі інформацією один кілограм сировини (сталі 30ХГТ) складає в середньому 36 гривень 3 копійки. Середня маса виготовляємих деталей складає близько 1 кілограма. Таким чином вартість сировини, що витрачається на виробництво дорівнює 648524 гривні 42 копійки.

Загалом сировини та матеріалів витрачається 998550 грн, що становить 55,475 грн на одну шестерню.

Розраховуємо вартість спожитих послуг, під час виробництва (табл. 4.6).

До розрахунку електропостачання необхідно віднести вартість електроенергії витраченої на переплавлення, токарну обробку, зачистку, полірування, термічну обробку у печах, травлення у електролітичних ваннах

та освітлення відповідних ділянок.

Тариф на купівлю електроенергії ПАТ «Запоріжжяобленерго» складає 1,705 грн за кВт/год. Тариф на розподіл електроенергії для підприємств другого класу складає 0,653 грн за кВт/год. Таким чином вартість одного кВт/год складає 2,356 грн.

Витрата електроенергії загальна на одну садку складає 600 кВт/год, що становить 1413,6 грн, тобто 18,848 грн на одну шестерню.

Витрати на освітлення на годину складають 23,56 грн.

Вартість електроенергії першої ділянки складає 19,7904 грн на одну деталь.

Вартість електроенергії на токарну обробку складає 4,7832 грн на одну деталь.

Вартість всієї поверхневої обробки складатиме 2,5601 грн на одну деталь.

Вартість хіміко-термічної обробки складатиме 4,4764 грн на одну деталь.

Вартість електроенергії на травлення складатиме 1,8848 грн на одну деталь.

Загальні витрати на електроенергію становлять 33,4949 грн на одну деталь.

Тариф на водопостачання та водовідведення становить 54,888 грн на 12 м³.

Вартість тепла становить 34,56 грн на 1 м³ у зимовий період. Вартість газу розраховується виходячи із використання у термічній обробці та подачі кисню в охолоджувачі.

Для нової технології кількість витраченої електроенергії та витрати газу на хіміко-термічну обробку скорочується в два рази.

Таблиця 4.6 – Розрахунок вартості споживчих послуг для стандартної і оптимізованої технології.

Вид послуг	Норматив у розрахунку на одиницю продукції		Виробнича програма, шт	Тариф, грн	Сума, грн	
	Стандартна технологія	Оптимізована технологія			Стандартна технологія	Оптимізована технологія
Електропостачання	33,49	16,75	18000 для стандартної технології 36000 для нової технології	2,356	602908,2	
Водопостачання	3,21			54,89	57841,2	115682,4
Теплопостачання	5,76			34,56	103680,0	207360,0
Газопостачання	7,25	3,63		-	130620,6	
Разом	49,72					895050,0

Визначаємо річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації (табл. 4.7). Час використання становить 10% від загального річного на ділянці. Амортизація розраховується за наступною формулою:

$$B_p = (B_n^n - Z_v^n + \sum Z_n^{n-1}) \cdot A^n / 100 \quad (4.1)$$

де B_n^n – початкова вартість основних засобів n-ного періоду;

Z_v^n – вартість засобів, що вибули за відповідний період;

Z_n - вартість засобів, що надійшли за відповідний період;

Оскільки важко здогадатися в якому з місяців були введені які кошти,

зробимо загальний розрахунок витрат на рік за остаточною вартістю ОЗ із нормою амортизації, і віднесемо 10% її до вартості випуску деталей.

Таблиця 4.7 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість ОЗ, тис. грн	Надійшло ОЗ, тис. грн	Вибуло ОЗ, тис. грн	Сума амортизації, тис. грн
Будівлі	2	23667	-	-	473,3
Споруди	3	7560	-	-	226,8
Передавальні пристрої	5	5540	230	250	276,0
Машини та обладнання	8	93720	1200	5810	7128,8
Інструменти, інвентар	10	2250	150	-	240,0
Інші основні засоби	10	275	25	-	30,0
Тара	20	500	120	100	104,0
Предмети прокату	10	1280	120	200	120,0
Разом	-	134792	1845	6360	8598,9

Таким чином загальна амортизація складає 8598900 грн.

Амортизація, яку можна віднести на виробництво деталей відповідно становить 859890 грн, або 47,77 грн на одну деталь для стандартної технології і 23,89 грн для нової технології

Визначаємо повну собівартість одиниць продукції виготовленої за стандартною технологією і за запропонованою.

Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів (поточний ремонт) приймаємо за 0,2 % від фактичної вартості.

Калькуляція собівартості виробів виготовлених за стандартною і оптимізованою технологіями наведена в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 Калькуляція собівартості ціни на вироби

Калькуляційні статті	Витрати, грн			
	По стандартній технології		По оптимізованій технології	
	Розрахунок на одиницю продукції	Розрахунок на весь річний обсяг продукції	Розрахунок на одиницю продукції	Розрахунок на весь річний обсяг продукції
1	2	3	4	5
Сировина та матеріали	55,49	998550,00	55,49	1997100
Електропостачання	33,49	602908,20	16,75	602908,2
Водопостачання	3,21	57841,20	3,21	115682,4
Теплопостачання	5,76	103680,00	5,76	207360
Газопостачання	7,25	130620,60	3,65	130620,6
Разом	105,2	1893600,00	84,83	3053671,2
Заробітна плата основних виробничих працівників	50,60	910744,90	50,60	1821489,8
ЄСВ	16,29	293290,70	16,29	586581,4
Амортизація	47,77	859890,00	23,89	859890

Кінець таблиці 4.8

1	2	3	4	5
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів, поточний ремонт	14,98	269584,00	7,49	269584
Загальновиробничі витрати	15,56	280072,10	15,56	560144,2
Виробнича собівартість	250,40	4507181,70	198,66	7151360,6
Адміністративні витрати	42,17	759080,20	42,17	759080,2
Інші витрати	2,11	37980,00	2,11	37980
Повна собівартість	294,68	5304241,90	242,94	7948420,8

Таким чином повна собівартість деталей за стандартною технологією складає 294,68 грн. В свою чергу за новою технологією собівартість складе 242,94 грн.

Економічна ефективність використання оптимізованої технології визначаємо таким чином:

$$E = (C_6 - C_o) \cdot N, \text{ грн.} \quad (4.2)$$

де C_6 – собівартість виробів, що виготовляються за стандартною технологією;

C_o - собівартість виробів, що виготовляються за оптимізованою технологією.

$$E = (294,68 - 242,94) \cdot 36000 = 1862640 \text{ грн.}$$

В результаті економічних розрахунків встановлено, що завдяки скороченню часу виробництва і як наслідок підвищення випускаємої продукції, деталі виготовленні комбінованою технологією цементації шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ, має і меншу собівартість, яка становить 242,94 грн. Таким чином економічний ефект склав 1862640 грн. Отже можна зробити висновок, що застосування оптимізованої технології цементації є доцільним в економічному плані завдяки меншій собівартості отриманих виробів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській роботі на тему: Дослідження методів нагріву з застосуванням СВЧ для розробки технології термічної обробки шестерен редуктора розглядаються заходи із охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушень правил електробезпеки, несправності електроспоживчого обладнання, відсутність захисного заземлення або занулення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

Можливість отримання механічних травм через потрапляння верхніх кінцівок в зону обертання абразивного круга при виконанні операції зачищення, внаслідок захаращеності робочої зони.

Можливість отримання термічних опіків, внаслідок торкання нагрітих поверхонь обладнання або деталей. Негативний вплив теплового випромінювання, яке може призвести до ушкодження системи кровообігу. Важкість праці – це така характеристика трудового процесу, що відображає переважне навантаження на опорно-руховий апарат і функціональні системи організму (серцево-судинну, дихальну та ін.), що забезпечують його діяльність.

Важкість праці характеризується фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальним числом стереотипних робочих рухів, розміром статичного навантаження,

робочою позою, ступенем нахилу корпусу, переміщенням в просторі.

Незадовільні параметри повітряного середовища робочої зони через неефективну роботу системи опалення та вентиляції, що може призвести до захворювань через підвищену концентрацію в повітрі газоподібних хімічних елементів, які входять до складу насичуючих атмосфер, через порушення герметичності підводу газопроводів, як наслідок – до отруєння.

Незадовільне освітлення робочої зони, що може призвести до погіршення.

Можливість загорянь, причинами яких можуть бути порушення правил пожежної безпеки, короткі замикання, що може призвести до пожежі.

Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій. Причинами неправильних дій можуть бути не досконале управління персоналу в таких умовах, відсутність навчання, інструктажів та тренінгів, що може призвести до паніки і як наслідок травмування або летального наслідку.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Заходи розробляються на основі аналізу потенційних небезпек. Обираються найбільш ефективні заходи, що спрямовані на виключення або мінімізацію негативного впливу визначених потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого процесу фізичного, хімічного, психофізіологічного характеру.

5.2.1 Попередження ураження електричним

Для попередження ураження електричним струмом необхідно здійснювати наступні заходи захисту:

Організаційні заходи:

До виконання робіт допускаються особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10 – 1.01 - 2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок – споживачів» та отримали допуск з електробезпеки відповідної групи.

Для кожного електроспоживаючого обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи:

Всі не ізольовані токопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті. Висота розташування визначається значенням напруги: при напрузі до 1000В – не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В – не менше 6м.

Електричне блокування здійснює розрив ланцюга спеціальними контактами згідно ДСТУ 12.4.155 – 85 «ССБТ. Пристрої захисного відключення. Класифікація. Загальнотехнічні вимоги» Наприклад, завантаження та розвантаження садки з термічної печі виконується тільки при автоматичному відключенні струму блокуючими пристроями.

Захисне заземлення або занулення. Принцип дії захисного заземлення або занулення полягає у зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка обумовлена замиканням на корпус. Електрообладнання необхідно заземлювати або занулювати у відповідності з ПУЕ - 2009 «Правила улаштування електроустановок».

При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту в відповідності з НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації

електроустановок споживачів», НПАОП 40.1-1.01.97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

5.2.2 Заходи безпеки щодо герметичності трубопроводів, що подають робочі гази до робочого місця

Шланги повинні бути тільки армованими.

Поєднання шлангів гладкими з'єднувачами не допускається.

Поєднання шлангів виконується тільки хомутом.

Герметизація проривів ізоляцією не допускається – необхідно пошкоджену ділянку вирізати і поєднати з'єднувачем (йорж) або хомут.

Використовувати шланги для подачі газів тільки за призначенням.

5.2.3 Заходи з безпеки для виключення можливості вибухів газоповітряної суміші при виконанні операції цементація

При хіміко-термічній обробці найбільше значення має витиснення повітря з робочого об'єму печі перед подачею насичувальних газів.

Перед початком виконання операцій хіміко-термічної обробки передбачена продувка реторти печі азотом для видалення повітря протягом не менше 1 години. Кількість азоту подається із розрахунку 3-5 кратного газообміну, при надлишковому тиску в реторті 0,5 атм. В період продувки реторти азотом необхідно виконати випробування герметичності методом омилування усіх місць з'єднання та зварних швів.

Подача робочих газів у реторту можлива тільки при температурі не менше 760°C (поріг безпеки). Для виконання цієї умови технологічне

обладнання повинно бути оснащене автоматичними пристроями, які блокують подачу робочих газів при невиконанні цієї умови.

Сучасне термічне обладнання для ТО оснащується полум'яними завісами, що встановлені перед отвором для завантаження. Значення цієї завіси полягає у недопущенні проникнення повітря у робочий простір печі, де у цей час знаходяться робочі гази. Сполука робочих газів з повітрям при температурах ТО неминуче приведе до вибуху. З огляду на це примусове зняття полум'яної завіси під час виконання операцій неприпустиме.

В аварійних ситуаціях, що пов'язані з неможливістю подачі робочих газів у реторту під час проведення операцій ТО слід негайно забезпечити подачу азоту для заміщення вибухонебезпечної газової суміші.

По закінченні терміну витримки деталей при ТО необхідна продувка реторти печі азотом для видалення робочого газу протягом неменше 1 години. Кількість азоту подається із розрахунку 3-5 кратного газообміну, при надлишковому тиску в реторті 0,5 атм.

5.2.4 Захист від теплового випромінювання

Основними заходами захисту є використання індивідуальних засобів захисту:

1. Спеціального одягу згідно ДСТУ 12.4.045 – 87 «Костюми чоловічі для захисту від підвищених температур. Технічні умови».
2. Рукавиць згідно ДСТУ 12.4.010 – 75 «ССБТ. Засоби індивідуального захисту. Рукавиці спеціальні. Технічні умови.»;
3. Групові засоби захисту: повітряні завіси між джерелами теплового випромінювання та зонами, де знаходяться робітники.

У деяких випадках, наприклад, при гартуванні деталей з високолегованих сплавів при температурах більш 11000С використовують

азбестові фартухи та рукавиці.

5.2.5 Важкість праці

З метою безпечного виконання технологічних операцій ТО до робіт допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд і отримали допуск до робіт. До робіт залучаються особи, що отримали певні знання за спеціальністю, які підтверджуються документом встановленого зразка. До роботи допускаються особи, які пройшли всі інструктажі і стажування, які передбачені КЗоТ і правилами допущення до робіт конкретного підприємства.

Доцільно використовувати стимулювання належного виконання правил охорони праці і невідворотність покарання за їх порушення.

5.2.6 Організація робочих зон при виконанні операцій ТО

Робочі місця термістів повинні відповідати відповідним вимогам ДСТУ 12.2.061-81 «ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць», ДСТУ 12.2.032-84 «ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги».

Структуру ділянок термічної та хіміко-термічної обробки можна уявити в наступному вигляді.

Норми безпечності визначають:

1. Площа на одного працюючого не менше $4,5 \text{ м}^2$;
2. Висота робочої зони від підлоги до стелі не менше 3,2 м;
3. Об'єм, що припадає на одного працюючого, не менше 15 м^3 .

Розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Кольорове рішення технологічного обладнання повинно відповідати вимогам ДСТУ 12.4.026-76 «Кольори сигнальні та знаки безпеки».

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Організація оптимального освітлення робочої зони:

Для забезпечення необхідного рівня виробничого освітлення слід дотримуватися вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» з урахуванням характеру зорової роботи. Передбачено формування систем освітлення з використанням дугових ламп ДРЛ та світильників ГСП.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: устрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища у відповідності до норм, які вказані в таблиці 4.1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія».

В холодний період року для забезпечення оптимальної температури виробничого приміщення слід використовувати систему водяного опалення та подавати зовнішнє повітря через калорифери.

Таблиця 5.1 – Оптимальні фізичні параметри повітряного середовища цеху

Пора року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18 – 22	40 – 60	0,1 – 0,3
Теплий	20 – 23	40 – 60	0,1 – 0,4

В теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або загально обмінну приточно-витяжну вентиляцію згідно ДСТУ 12.4.021-75 «СССБТ. Системи вентиляційні. Загальні вимоги».

В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення необхідного повітрообміну в теплий період року, передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентиляції відповідно ДСТУ 12.4.021-75 «ССБТ. Системи вентиляційні. Загальні вимоги».

Розрізняють чотири основні схеми організації повітрообміну при загальнообмінній вентиляції: зверху вниз, зверху вверх, знизу вверх, знизу вниз (рис. 5.1). Схеми зверху вниз (рис. 5.1, а) та зверху вверх (рис. 5.1, б) доцільно застосовувати у випадку, коли припливне повітря в холодний період року має температуру нижчу температури приміщення.

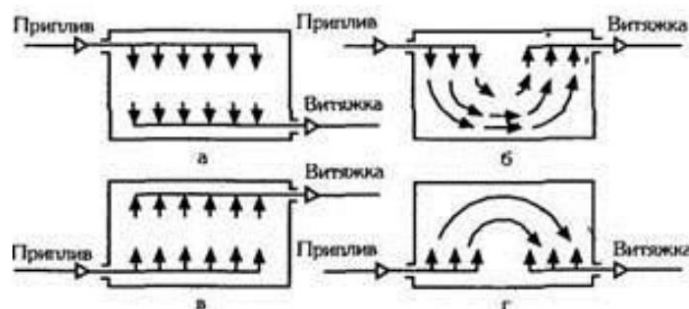


Рисунок 5.1 – Схема організації повітрообміну при загально обмінній вентиляції

Припливне повітря перш ніж досягти робочої зони нагрівається за рахунок повітря приміщення. Інші дві схеми (рис. 5.1, в та г) рекомендується використовувати тоді, коли припливне повітря в холодний період року підігрівається і його температура вища температури внутрішнього повітря.

Основне завдання розрахунку загальнообмінних систем штучної вентиляції — визначити кількість повітря, що необхідно подати і вилучити з приміщення. При розрахунку вентиляції в цехах, повітрообмін, як правило, визначають розрахунковим шляхом за конкретними даними про кількість шкідливих виділень (теплоти, вологи, парів, газів).

Розрахунок повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти.

$$L_v = \frac{Q \cdot 3600}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{пр}})}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.1)$$

де Q — надлишок теплоти в виробничому приміщенні, складає 37кВт;

C — масова теплоємність припливного повітря, що дорівнює 1кДж/(кг·°C);

ρ_v — густина припливного повітря, що дорівнює 1,2кг/м³ ;

$t_{\text{вид}}$ — температура з приміщення повітря, °C;

$t_{\text{пр}}$ — температура припливного (зовнішнього) повітря, °C.

Температура зовнішнього повітря відповідно до СНіП 2.04.05-91. У «Опалення, вентиляція та кондиціювання повітря. Норми проектування» для м. Запоріжжя складає:

Для зимового періоду року (-8°C);

Для літнього періоду року (+27°C).

Температуру видаляемого з приміщення повітря знаходять за виразом:

$$t_{\text{вид}} = t_{\text{норм}} + \Delta t \cdot (H_{\text{ц}} - C), \text{ °C} \quad (5.2)$$

де $t_{\text{норм}}$ — нормована (оптимальна) температура в приміщенні,

обирається за ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, в залежності від категорії робіт», складає 18-20°C;

Δt – градієнт температури, що приймається для виробничих приміщень рівним 1,5 град/м;

$H_{\text{ц}}$ – відстань від підлоги до центра витяжних проїомів, м.

$$H_{\text{ц}} = H - 1, \text{ м} \quad (5.3)$$

де H – висота приміщення, складає 8м.

$$H_{\text{ц}} = 8 - 1 = 7 \text{ м}$$

$$t_{\text{вид}} = 20 + 1,5(7-2) = 27,5^{\circ}\text{C}$$

Розрахунок повітрообміну за умови виділення надлишкової теплоти для зимового періоду:

$$L_{\text{в}} = \frac{37 \cdot 3600}{1 \cdot 1,2 \cdot (27,5 - (-8))} = 3126,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Для попередження пожежі та вибухів на ділянках передбачені такі заходи наявність первинних засобів пожежогасіння, зберігання легкозаймистих речовин у герметично закритій тарі або у витяжних шафах.

В комплексі заходів, що використовуються в системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найбільш раціональних способів та засобів гасіння різних горючих речовин матеріалів згідно зі СНиП 2.01.02-85 «Протипожежні норми проектування будівель і споруд».

Приміщення підрозділів термічної обробки мають категорію по пожежній небезпеці «Д», тому особливих мір захисту не передбачається. Використовуються пінні і вуглекислотні вогнегасники, кошма, ящики з піском. Приміщення підрозділів ХТО мають категорію по пожежній небезпеці В, тому потребують додаткових заходів з пожежної безпеки. Наприклад, встановлення мідних пластин для зняття зарядів статичної електрики на вході у приміщення для зберігання легкозаймистих технологічних матеріалів. В деяких випадках устрій системи пожежогасіння за допомогою азоту.

Площа дільниці складає 1728 м². Виходячи з цього згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обирається чотири вуглекислотних вогнегасника ємністю 18 кг кожний, а також необхідна наявність одного пожежного щита.

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Інформування, оповіщення і дії робітників та службовців промислового об'єкта, при загрозі виникнення надзвичайної ситуації. Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій полягає у своєчасному доведенні інформації органам управління цивільного захисту, силам цивільного захисту, суб'єктам господарської діяльності і населенню.

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій забезпечується шляхом:

1. Функціонування загальнодержавної, територіальних, місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, спеціальних, локальних і об'єктових систем оповіщення.

2. Централізованого використання телекомунікаційних мереж

загального користування, в тому числі мобільного зв'язку, відомчих телекомунікаційних мереж і телекомунікаційних мереж об'єктів господарської діяльності, а також мереж загальнонаціонального, регіонального та місцевого радіомовлення, телебачення та інших технічних засобів передачі або відображення інформації.

3. Автоматизації процесу передачі сигналів і повідомлень про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій.

4. Функціонування на об'єктах підвищеної небезпеки автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення.

5. Організаційно-технічної інтеграції різних систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій та автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення.

6. Функціонування в населених пунктах та місцях масового перебування людей сигнально-гучномовних пристроїв, а також електронних інформаційних табло для передачі інформації цивільного захисту.

Інформацію щодо цивільного захисту становлять відомості про прогнозовані або про ті, що відбулися надзвичайні ситуації. Ці відомості повинні включати: класифікацію, межі розповсюдження і можливі наслідки НС, а також про способи і методи захисту від них.

Органи управління цивільного захисту зобов'язані надавати населенню через засоби масової інформації оперативні та достовірні дані про ситуацію обстановці, а також інформувати про свою діяльність з питань цивільного захисту. Керівники потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки, зобов'язані систематично і оперативно публікувати інформацію про ці об'єкти в офіційних друкованих виданнях, на офіційних веб-сайтах, інформаційних стендах, а також доводити будь-яким прийнятним способом. Інформація повинна містити дані про об'єкт, сферу його діяльності, про природу можливих ризиків при аварії, включаючи вплив на людей і навколишнє середовище, а також про способи інформування населення у разі

загрози або виникнення аварії та порядку дій при її виникненні. Поширення інформації про наслідки надзвичайної ситуації здійснюється відповідно до законодавства про інформацію.

Як висновок можемо сказати, що для попередження або мінімізації негативного наслідку шкідливих факторів виробничих процесів термічної обробки слід планувати та здійснювати певний комплекс заходів захисту.

Заходи по забезпеченню належного рівня професійної підготовки фахівців, до роботи допускаються особи, які пройшли всі інструктажі і стажування, які передбачені КЗоТ і правилами допущення до робіт конкретного підприємства.

Що до електробезпеки необхідно вживати організаційні та технічні заходи, а саме, до виконання робіт допускати особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки. При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту.

Необхідно враховувати заходи безпеки, щодо герметичності трубопроводів, шланги повинні бути тільки армованими, поєднання шлангів гладкими з'єднувачами не допускається, використовувати шланги для подачі газів тільки за призначенням та ін.

Для захисту від теплового випромінювання обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту (спеціального одягу, рукавиць, повітряні завіси та ін.).

Організація робочого місця повинна відповідати певним вимогам нормативних документів, площа на одного працюючого не менше 4,5 м², розташування тепловипромінюючого обладнання повинно виконуватися з урахуванням потоків повітря при використанні природної або штучної загально обмінної вентиляції.

Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища слід використовувати систему водяного опалення та подавати зовнішнє повітря через калорифери, в теплий період року необхідно використовувати

природну вентиляцію, або загально обмінну.

Для попередження пожежі та вибухів на ділянках передбачені наявність первинних засобів пожежогасіння, зберігання легкозаймистих речовин у герметично закритій тарі або у витяжних шафах. Використовуються пінні і вуглекислотні вогнегасники, кошма, ящики з піском.

Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів згідно ДСТУ 3891-99 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять, встановлення систем передавання тривожних сповіщень та устаткування згідно ДСТУ 50136-1-1:2004 «Системи тривожної сигналізації. Системи передавання тривожних сповіщень та устаткування. Частина 1-1. Загальні вимоги до систем передавання тривожних сповіщень».

Надзвичайною ситуацією називається порушення нормальних умов життя людей на об'єкті або території, які викликані аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епіфіотією, епізотією, великими пожежами, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських втрат і матеріальних збитків.

Важливим фактором забезпечення безаварійної роботи є вивчення і суворе дотримання всіма інженерно-технічними працівниками правил і норм техніки безпеки. Основними заходами по ліквідації наслідків аварій і стихійних лих є:

1. Оповіщення робітників і службовців, ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкту, екстрена евакуація.
2. Комплексна розвідка об'єкту на якому виникла аварія.
3. Рятування людей з-під завалів, із оточуючих і ушкоджених будівель і споруд.
4. Надання медичної допомоги потерпілим від аварії, вивіз у лікувальні установи.
5. Гасіння пожеж.

6. Локалізація аварії на комунально-енергетичних мережах, перешкоджаючих веденню рятувальних робіт.

7. Облаштування проїздів і підходів до місць аварій.

8. Руйнування ненадійних конструкцій, розбирання завалів.

9. Демонтаж вцілілого устаткування, якому загрожує небезпека.

10. Організація комендантської служби.

Таким чином зважаючи на вище сказане можна встановити в проекті надано основні заходи з охорони праці для діляниць термічної обробки:

1. Для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені організаційні та технічні заходи, які передбачають : проведення навчань з правил електробезпеки, перевірку знань та атестацію персоналу на четверту або третю групу з електробезпеки, експлуатація та ремонт обладнання повинні здійснюватись спеціально підготованим персоналом, використання захисного заземлення та занулення, розташування струмопровідних частин на недоступній висоті.

2. Для виключення механічних травм на абразивних кругах необхідно щоб, устрій підлокітника повинен знаходитися в правильному положенні, відстань між кругом і підлокітником не перевищувала 3 мм, абразивний круг повинен бути захищений кожухом.

3. Для уникнення термічних опіків та теплового випромінювання передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

4. Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціонування приміщення.

5. Робоче приміщення повинно бути оснащене штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення освітленості робочої площини.

6. Для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки. Основними організаційними заходами є

наявність інструкцій з пожежної безпеки, план і евакуації співробітників в разі пожежі. Основними технічними засобами пожежної безпеки є оснащення будівлі пожежним інвентарем і підтримка його в робочому стані, а також первинними засобами пожежегасіння: вогнегасниками, системами сповіщення.

7. Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів.

ВИСНОВКИ

Розглянуто умови експлуатації шестерень редуктора. Встановлено навантаження які діють на зубчаті колеса та напруження в них які виникають під час роботи. Розглянуті основні принципи за якими відбувається нагрівання за допомогою струмів високої частоти.

Проведений порівняльний аналіз поверхневого зміцнення зубців шестерень редуктора методами хіміко-термічної обробки та поверхневого гартування з нагріванням СВЧ. Встановлені переваги поверхневого гартування, а саме висока продуктивність і швидкість виконання операції, значне скорочення маршрутної технології, а також простота використання.

До переваг гартування СВЧ перед процесами хіміко-термічної обробки можна віднести більшу здатність до автоматизації процесу, а також більш простий контроль параметрів виконуваної обробки.

Запропоновано комбінований метод хіміко-термічної обробки шестерень редуктора з використанням технології поверхневого гартування з нагрівом СВЧ. Експериментально підтверджено доцільність такої технології у порівнянні зі звичайними технологіями ХТО та поверхневого нагрівання, про що свідчать дещо підвищений рівень механічних властивостей отриманих в результаті. Крім того встановлено значне зменшення витрат часу на виконання повного циклу хіміко-термічної обробки, що дозволить значно підвищити продуктивність виробництва.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kraige L. G., Meriam J. L. Engineering Mechanics: Dynamics (Engineering Mechanics, Dynamics). Wiley, 2003. 736 p.
2. Hjelmstad K. D. Fundamentals of Structural Mechanics. Springer, 2004. 480 p.
3. Vector Mechanics for Engineers: Statics and Dynamics / F. P. Beer et al. 8th ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2006. 1326 p.
4. Callister Jr W. D. Materials Science and Engineering - An Introduction (5th ed.). *Anti-Corrosion Methods and Materials*. 2000. Vol. 47, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1108/acmm.2000.12847aae.001> (date of access: 14.12.2023).
5. Rajan T. V. S., Sharma A. K., Sharma C. P. Heat Treatment: Principles and Techniques. Prentice Hall India Pvt., Limited, 2011.
6. Steel heat treatment handbook / ed. by T. G. E, H. M. A. H. New York : Marcel Dekker, 1997. 1192 p.
7. Verdeja González J. I., Fernández-González D., Verdeja González L. F. Physical Metallurgy and Heat Treatment of Steel. Cham : Springer International Publishing, 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-05702-1> (date of access: 14.12.2023).
8. REZA ABBASCHIAN & ROBERT E. REED-HILL. Physical Metallurgy Principles [International Edition]. CENGAGE INDIA, 2008.
9. American Society for Metals. Principles of heat treatment. Cleveland : The Society, 1953. 303 p.
10. Astm. 1993 Annual Book of Astm Standards: Section 1 : Iron and Steel Products : Volume 01.06 : Coated Steel Products/Pcn No. : 01-010693-02 (Annual Book of a S T M Standards Volume 0106). American Society for Testing & Materials, 1993. 590 p.
11. ASM materials engineering dictionary / ed. by J. R. Davis & Associates.,

A. International. [Metals Park, Ohio] : ASM International, 1992. 555 p.

12. Edenhofer B., Joritz D., Rink M., Voges K. Carburizing of steels / in “Thermochemical Surface Engineering of Steels”. — Elsevier Ltd., 2015 P. 485 – 553.

13. Bryson W. E. Making Metal. *Heat Treatment*. München, 2015. P. 24–25. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569904862.006> (date of access: 14.12.2023).

14. Sisson R. D. Heat Treatment. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. 2001. P. 3736–3741. URL: <https://doi.org/10.1016/b0-08-043152-6/00666-5> (date of access: 14.12.2023).

15. Gulkov Y. V., Turysheva A. V., Vinogradova I. V. Producing Steels with Special Properties Using a Jet Heat Treatment System. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 854. P. 30–36. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.854.30> (date of access: 14.12.2023).

16. George K. Steels: Heat treatment and processing principles. Materials Park, Ohio : ASM International, 1989. 497 p.

17. Lee S.-J., Matlock D. K., Van Tyne C. J. An Empirical Model for Carbon Diffusion in Austenite Incorporating Alloying Element Effects // *ISIJ International*. 2011. Vol. 51. P. 1903 – 1911.11.

18. Kim D.-W., Cho H.-H., Lee W.-B. et al. A finite element simulation for carburizing heat treatment of automotive gearing incorporating transformation plasticity // *Materials and Design*. 2016. Vol. 99. p. 243 – 253.12.

19. Chotěborský R., Brožek M. Influence of heat treatment on mechanical properties of steel. *Research in Agricultural Engineering*. 2012. Vol. 50, No. 4. P. 152–155. URL: <https://doi.org/10.17221/4942-rae> (date of access: 05.12.2023).

20. ДБН В.2.5-28-2006. Природнє та штучне освітлення. [Дійсн. від 15.05.06]. К.: Мінбуд, 1977. 96 с

ДОДАТОК