

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Удосконалення термічної обробки теплостійких сталей
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи ІФ222м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

КЛІЩ К.В

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГЛОТКА О.А.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичне матеріалознавство

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)

КЛІЩ Кирило Володимирович

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення термічної обробки теплостійких сталей

керівник проєкту (роботи) доцент, к.т.н ГЛЮТКА Олександр Анатолійович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20 ____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 22.01.2024

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) зразки зі сталі марки 20ХЗМВФ, 16ХЗНВФМБ, 13ХЗНВМ2Ф, 17ХНВ4МФ, умови експлуатації шестерень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд літератури, матеріали та методика, дослідження методів підвищення теплостійкості сталей, розрахунок економічної ефективності, охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ГЛОТКА О.А.доцент, к.т.н		
2	ГЛОТКА О.А.доцент, к.т.н		
3	ГЛОТКА О.А.доцент, к.т.н		
4	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
5	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
НК			

7. Дата видачі завдання «10» жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент(ка)

(підпис)

Кирило КЛИШ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Олександр ГЛОТКА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 90 с., 19 табл., 11 рис., 6 додатків, 29 джерел.

ЦЕМЕНТАЦІЯ, АУСТЕНІТ ЗАЛИШКОВИЙ, СТАЛЬ 13Х3НВМ2Ф, ДІАГРАМА ІЗОТЕРМІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

В дипломній роботі проводиться дослідження кінетики аустенітного перетворення в цементових і цементованих сталях. Основні завдання дослідження включають:

Аналіз діаграм ізотермічного перетворення промислових цементованих та цементових сталей. Ретельний аналіз графіків ізотермічного перетворення для цементованих та цементових сталей, які використовуються в промисловості. Дослідження впливу варіанту і режиму циклічно-теплової обробки (ХТО) на властивості цементованого шару сталі 13Х3НВМ2Ф. Відбір та докладний аналіз різних варіантів і режимів циклічно-теплової обробки та їх вплив на властивості цементованого шару сталі. Аналіз діаграми ізотермічного перетворення метастабільного аустеніту цементованої сталі 13Х3НВМ2Ф. Детальний аналіз графіків ізотермічного перетворення для метастабільного аустеніту цементованої сталі. Опис кінетики аустенітного перетворення. Повний опис процесу кінетики аустенітного перетворення у вибраних типах сталей. Ця робота націлена на розкриття основних аспектів процесів перетворення структури в цементових і цементованих сталях, розглядаючи різні параметри та вплив циклічно-теплової обробки та метастабільного аустеніту.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд літератури.....	8
1.1 Аналіз умов експлуатації шестерень	8
1.2 Вимоги до матеріалів вал-шестерня	12
1.3 Матеріали для виготовлення зубчастих коліс.....	14
1.4 Методи покращення експлуатаційних властивостей шестерень	17
1.5 Перетворення при ТО шестерень із теплостійких сталей	21
2 Матеріали та методика досліджень	29
2.1 Хімічний склад досліджуваних сталей	29
2.2 Спосіб цементації зразків.....	30
2.3 Дослідження мікроструктури	31
2.4 Дослідження твердості за Роквелом	32
3 Дослідження методів підвищення теплостійкості сталей	34
3.1 Легування теплостійких цементованих сталей.....	34
3.2 Режими хіміко-термічної обробки теплостійких сталей	38
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	50
4.1 Аналіз потенційних небезпек	50
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	51
4.3 Заходи з виробничої санітарії	55
4.4 Заходи з пожежної безпеки	56
4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	57
5 Економіко-організаційна частина.....	63
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу	63
5.2 Послідовний аналіз	64
5.3 Техніко-економічні розрахунки	69
Висновки	78
Перелік джерел посилань	79

Додаток А.....	81
----------------	----

ВСТУП

У сфері сучасних технологій термічної обробки металів, розвиток автоматизації та вдосконалення виробничих процедур зумовлюють потребу в глибокому розумінні ключових параметрів та властивостей легованих матеріалів. Важливість точної інформації про температурні характеристики критичних фазових переходів, динаміку розпаду переохолодженого аустеніту, стійкість сплавів до перегріву та збільшенню розмірів зерен, а також про здатність до гартування і механічні характеристики, є незаперечною. Врахування динаміки трансформації аустеніту є критичним для визначення параметрів здатності до гартування, оптимізації умов термообробки та покращення механічних властивостей великогабаритних компонентів.

Відомо, що темпи перетворення надлишково охолодженого аустеніту піддаються впливу багатьох чинників. Модифікації у хімічному складі сталі, специфіка процесів її виготовлення, лиття, деоксидації, а також температурні умови під час нагрівання і розмір зерна аустеніту мають значний вплив на динаміку цього феномена.

Отже, при оцінці перетворення переохолодженого аустеніту в конкретній марці сталі, недостатньо обмежуватися аналізом однієї лише діаграми перетворення, як це зазвичай практикується. Такі діаграми слід вважати умовними та вони мають обмежену сферу застосування, адже вони відображають динаміку розпаду аустеніту лише для специфічної партії сталі.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз умов експлуатації шестерень

У сучасній промисловості виробництво деталей для машин вимагає врахування ряду критеріїв для забезпечення їхньої ефективності та довговічності. Один з ключових елементів - це шестерня, яка виконує важливу функцію у трансмісійних системах. Для забезпечення оптимальної якості і тривалого терміну служби шестерні, необхідно ретельно розглянути кілька аспектів вибору матеріалу та технології виготовлення. Приклад деталі шестерня наведено на рисунку 1.1 [1]

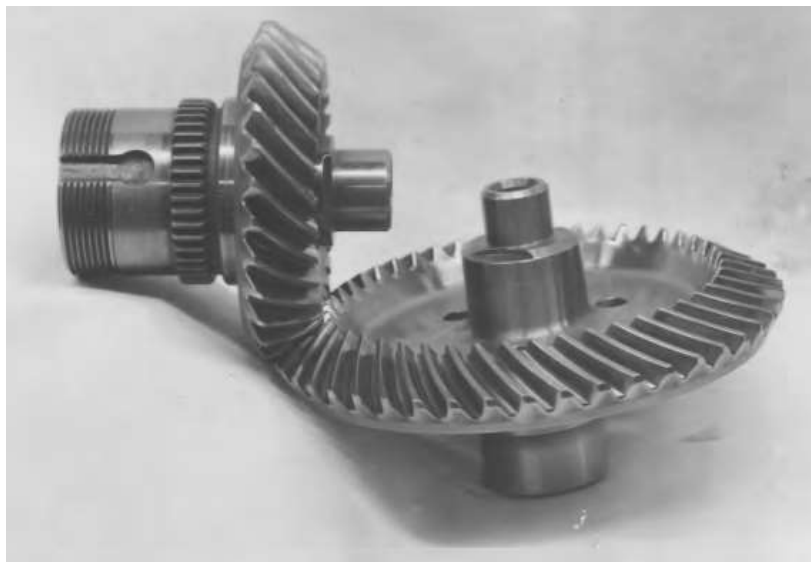


Рисунок 1.1 – Шестерня із теплостійкої сталі

Перш за все, важливо провести аналіз умов роботи шестерні, визначивши навантаження, яким вона буде піддаватися, і терміни служби, які потрібно досягти. З цією інформацією можна визначити властивості матеріалу, такі як міцність, твердість і стійкість до зносу.

Після цього слід підібрати методи випробування матеріалу для визначення його характеристик, а також визначити хімічний склад, оскільки це важливий фактор для властивостей матеріалу [1-3].

Враховуючи отримані результати, можна обґрунтувати вибір матеріалу, який задовольнятиме всі вимоги до деталі. До того ж, не менш важливим є обґрунтування і призначення режиму термічної обробки для забезпечення оптимальних властивостей матеріалу та його довговічності.

Отже, аналізуючи вимоги та умови роботи шестерні, можна здійснити обґрунтований вибір матеріалу та технології виробництва, щоб досягти оптимального балансу між якістю, тривалістю служби та собівартістю деталі.

Під час роботи шестерні важливо мати на увазі конструктивну міцність, яка визначається надійністю та довговічністю. Надійність вказує на здатність деталі утримувати свої параметри в межах, необхідних для виконання функцій при заданих умовах експлуатації. Довговічність, з свого боку, визначається здатністю деталі зберігати працездатність до моменту, коли її використання стає неможливим [3].

Для досягнення надійності та довговічності важливими факторами є правильний вибір матеріалу і термічної обробки. Матеріал повинен мати високий опір тріщинам та їх поширенням, особливо в областях статичного навантаження та місцях контакту деталей. Зносостійкість також є ключовим аспектом, оскільки шестерня піддається зносу під час роботи, особливо в областях контакту з іншими деталями.

Знос може бути механічним, і його молекулярно-механічний характер включає утворення мікротріщин та передачу металу між поверхнями деталі. Статичні навантаження можуть призводити до утворення мікротріщин та руйнування в областях, які найбільше навантажені, що може призвести до виникнення пробоїн та зносу [3].

Під час експлуатації шестерень найчастіше відбувається тріщиння або облом в місцях посадочних місць. Отже, вибір матеріалу та відповідна термічна обробка мають ключове значення для забезпечення конструктивної міцності і тривалого терміну служби шестерні в умовах експлуатації:

З урахуванням умов експлуатації шестерні, матеріал шестерні повинен володіти рядом властивостей, що відповідають високим навантаженням і зносостійкості. Основні вимоги до матеріалу включають [4]:

Висока зносостійкість: Матеріал повинен мати високий показник твердості на поверхні (HRC 58–62), що забезпечує високу стійкість до зносу при дії абразивних часток, грязі, пилу та інших агресивних середовищ.

Міцність при згинанні: З урахуванням максимального однократного навантаження, матеріал повинен володіти високою міцністю при згинанні для витримки різких тормозів, заклинювань і при прикладанні максимального крутячого моменту.

Високий опір втомним руйнуванням: Оскільки шестерня піддається багатократним циклічним навантаженням, матеріал повинен мати високий показник опору втомленості для уникнення втомного руйнування, особливо в корені зуба.

Стійкість до контактних напружень: Матеріал повинен опиратися контактним напругам на бокових робочих поверхнях зубів, що можуть призводити до контактної-втомної викришування (пітінгу) з напругами, які можуть досягати 2300 МПа.

Опір окрихченню і задирам: Умови тертя можуть спричиняти окрихчення і задири, тому матеріал повинен мати властивості, що запобігають цим явищам.

Твердість для захисту від хімічних впливів: Оскільки насос призначений для перекачування відходів хімічних продуктів, матеріал повинен бути стійким до корозії та інших хімічних впливів, що можуть впливати на його структуру [3,4].

Загальною метою є вибір матеріалу, який забезпечить оптимальний баланс між всіма властивостями для ефективної роботи шестерні в умовах високих навантажень та агресивного середовища.

Результати систематизації різних властивостей матеріалу можна оформити у вигляді таблиці (табл. 1.1). Ця таблиця містить загальні вимоги до матеріалів які використовуються для виготовлення шестерен [4].

Таблиця 1.1 - Загальні властивості матеріалу

Умови експлуатації	Вимоги до матеріалу	Властивості матеріалу
1	2	3
Механічні властивості		
Підвищене тертя на поверхні	Матеріал шестерні повинен на поверхні мати високу твердість і зносостійкість	Висока твердість поверхні і зносостійкість
Значні динамічні, циклічні знакозмінні навантаження	Матеріал шестерні в середині повинен витримувати ударні і знакозмінні навантаження не руйнуючись	Висока міцність, в'язкість, зносостійкість
Хімічні властивості		
Взаємодія із зовнішнім середовищем	Повинен пручатися впливу Атмосферних умов	Корозійна стійкість
Технологічні властивості		
При Виготовленні Ковкою	Повинен мати високу в'язкість пластичні	Оброблюваність тиском, пластичність
	Повинен піддаватися механічній обробці різальним інструментом	Оброблюваність різанням
При ТО	Повинен гартуватися на певну глибину;	Прогартованість

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Робота в умовах звичайної $t^{\circ}\text{C}$ і підвищеного зносу	Здатність опиратися зносу при підвищеному тиску; не давати руйнування в умовах ударних і знакозмінних навантажень	Висока міцність при згинанні, контактна витривалість і ударна в'язкість

1.2 Вимоги до матеріалів вал-шестерня

Деталі шестерні повинні відповідати ряду ключових вимог, включаючи достатню міцність і твердість, довговічність з високою зносостійкістю, а також відповідність умовам експлуатації. Однак основні вимоги до конструкції деталей машин можна узагальнити до двох аспектів - надійності і економічності.

Надійність визначається як здатність об'єкта виконувати свої функції, зберігаючи значення експлуатаційних показників в заданих межах з плином часу. Це вимірюється ймовірністю безвідмовної роботи матеріалу під час експлуатації. Експлуатаційні відмови поділяються на поступові, які виникають через надмірний знос і втомне руйнування, та раптові, що можуть бути наслідком крихкого руйнування матеріалу. Боротьба з поступовою відмовою передбачає правильний інженерний розрахунок, включаючи створення запасу міцності [5].

Раптові відмови, як правило, викликані крихким руйнуванням матеріалу, тому конструкційні матеріали повинні мати достатню в'язкість і пластичність. Важливо також враховувати тріщиностійкість для запобігання

появі тріщин в матеріалі. Урахування цих аспектів сприяє створенню надійних та довговічних деталей шестерні, які відповідають усім вимогам умов роботи.

Тріщиностійкість визначається як здатність матеріалу протистояти утворенню тріщин під впливом механічних та інших навантажень. Економічність, з свого боку, визначається системою заходів, що спрямовані на забезпечення мінімальних витрат на придбання матеріалів та обладнання для виробництва.

Вал-шестерні мають високу твердість та зносостійкість поверхневого шару, підвищену контактну витривалість, а також в'язку, м'яку серцевину. Це необхідно для амортизації знакозмінних напружень, що діють на деталі. Зазвичай вони виготовляються зі сталей, які допускають термічну або хіміко-термічну обробку для досягнення високої несучої здатності і довговічності зубчастих передач.

Залежно від твердості матеріали поділяються на дві групи. Група А має твердість поверхонь ≤ 350 НВ і застосовується при термообробці, що включає нормалізацію, поліпшення і об'ємне гартування з низьким відпуском. Група Б, з твердістю > 350 НВ, використовується в передачах з підвищеною навантажувальною здатністю для підвищення втомної контактної міцності зубців та зниження габаритів передачі.

Існує кілька методів для підвищення конструкційної міцності матеріалів [5, 7]:

Очищення сплавів від неметалевих включень: Чистіші сплави мають більший опір крихкому руйнуванню та менший поріг холодноламкості. Видалення неметалевих включень, таких як сірка (S), фосфор (P) та газоподібні домішки, є ефективним способом підвищення металургійної якості матеріалів, що в результаті призводить до підвищення конструкційної міцності сталей і сплавів.

Застосування легованих конструкційних сталей: Додавання легуючих елементів підвищує ефективність термічної обробки. Леговані сталі, як правило, гартуються в маслі, що зменшує гартівні напруги, деформації і

викривлення деталей. Легуючі елементи також сприяють покращенню комплексу механічних характеристик конструкційної міцності, таких як межа текучості (σ_B), межа міцності (σ_T), міцність при розтягуванні (σ_{-1}), пластичність (δ), та опір втомі (КСУ) [5].

Несуча здатність валів-шестерень визначається переважно станом поверхневих шарів, оскільки сам руйнування розпочинається з поверхні. Для підвищення втомної витривалості та зносостійкості необхідно збільшувати твердість поверхні, досягаючи цього за допомогою поверхневого гартування, хіміко-термічної обробки та пластичної деформації для утворення залишкових напружень стиску на поверхні деталей.

Товщина дифузійного шару має значущий вплив на міцність, особливо на опір втомі при згині та контактну витривалість. Вибір марки сталі та методу її зміцнення для валів-шестерень залежить від ступеня їх навантаженості. Мало- та середньонавантажені елементи зазвичай виготовляють із безнікелевих чи малонікелевих сталей, тоді як важконавантажені можуть бути виготовлені із більш легованих сталей чи поліпшуваних сталей.

При виборі матеріалу для виготовлення деталей слід враховувати механічні характеристики після термічної обробки, ціну, дефіцитність легуючих добавок та загальну вартість сталі. З метою підвищення твердості та зносостійкості зубців, вали-шестерні можуть піддаватися зміцненню через цементацію, нітроцементацію, азотування або нанесення зносостійких покриттів [5-8].

1.3 Матеріали для виготовлення зубчастих коліс

При розробці зубчастих або черв'ячних передач основна увага приділяється вибору матеріалу, з якого вони будуть виготовлені, оскільки це визначає контактну міцність, зносостійкість зубів та, відповідно, тривалість

служби редуктора. Визначальним показником для вибору матеріалу є його твердість. Важливо відзначити, що вища твердість матеріалу сприяє меншій вазі та більшій міцності вала-шестерні, шестерні чи зубчастого колеса, виготовленого з цього матеріалу [9-10].

Обраний матеріал повинен гарантувати успішну експлуатацію деталі в конструкції (виробі). Після зміцнювальної обробки властивості його повинні забезпечувати необхідну якість виробу, перш за все, за показниками надійності в відповідних умовах експлуатації. При виборі матеріалів для валів-шестерень і зубчастих коліс необхідно забезпечити опір контактної втоми поверхневих шарів зубів, міцність зубів на вигин, опір заїдання і зносу. Основними матеріалами є термічно або хіміко-термічно оброблені сталі [11].

Згідно із зазначеними технічними характеристиками, зубчасті колеса виготовлені з різних сталей, таких як 18ХГТ, 25ХГТ, 20ХГР, 20ХНР, 12ХНЗА, 20ХНЗА, 20Х2Н4А, 20ХГНР, 20ХНМ, відповідно до ДСТУ 7806:2015, і 25ХНТЦ, 20ХНМАЮ за технічними умовами. Зокрема, сталь 20ХГНР, після нормалізації при 950°C, гартування при 830°C в маслі і низькотемпературного відпуску при 200 °C, має високі властивості, такі як границя плинності 1100 МПа, тимчасовий опір 1300 МПа, подовження 10%, звуження 50%. Це представляє собою найбільш високі властивості серед використовуваних сталей.

За допомогою даного винаходу досягнуто технічний результат у підвищенні контактно-втомної міцності на 25-30% [12]. Цей результат досягається завдяки тому, що зубчаста пара, яка включає провідне і ведуче зубчасті колеса, виготовлена зі сталі, яка містить вуглець, кремній, марганець, ванадій, хром, нікель, сірку, фосфор, і відрізняється тим, що для ведучого колеса сталь додатково містить мідь, кобальт, молібден і підвищений вміст бору. Присадка бору до цементованих сталей покращує їх прогартованість і підвищує міцність серцевини. При цьому встановлено, що межі вмісту бору повинні бути від 0,010 до 0,018%. Дія бору посилюється при підвищенні температури гартування в цьому інтервалі вмісту, що призводить до

покращення механічних властивостей, однак слід враховувати, що високі концентрації бору можуть впливати на в'язкість руйнування.

В результаті розробки цементованої сталі з меншою схильністю до утворення вільних карбідів у поверхневому шарі та максимальною в'язкістю серцевини виявилася необхідність включення міді у кількості 0,6–0,8%. Легування сталі міддю допомагає уникнути надмірного вуглецювання під час тривалої цементації та при впливі потужних карбюризаторів, зменшуючи утворення карбідів на границях зерен.

Мала схильність міді-легованої сталі до надмірного вуглецювання під час тривалої цементації є результатом впливу міді, яка водночас підвищує прогартованість на 16–20% у прийнятих кількостях. Важливою характеристикою для контактної міцності є також зменшення локальної корозії при легуванні міддю відсотком 0,6% і забезпечення теплостійкості до температур у межах 300–400 °С.

Важливо відзначити, що максимально досяжна твердість сталі за участю міді у кількості до 0,8% фактично залишається незмінною, і температура початку мартенситного перетворення також залишається стабільною[12].

Додавання марганцю до сталі позитивно впливає на термічну обробку, переважно через підвищення прогартованості. Зі збільшенням вмісту марганцю до 2,7% збільшується розподіл дисперсного маловуглецевого мартенситу. Мінімальний вміст марганцю на рівні 2,3% встановлено для того, щоб почати перетворення в центрі зуба з початкового утворення складного карбиду, при цьому аустеніт збіднюється вуглецем так, щоб температура початку мартенситного перетворення залишалася сталою.

Вміст кремнію у межах 0,17–0,37% фіксується для забезпечення достатнього розкислення металу. Контрольований вміст вуглецю, від 0,18 до 0,23% для ведучого колеса і від 0,26 до 0,30% для веденого колеса, встановлено з метою забезпечення необхідної твердості поверхневого шару після хіміко-термічної обробки та в'язкості серцевини зуба[12].

1.4 Методи покращення експлуатаційних властивостей шестерень

До методів покращення властивостей валів-шестерень включають методи, спрямовані на підвищення конструкційної міцності, технологічні, металургійні, конструкторські та інші. Головна мета цих методів полягає в підвищенні міцності матеріалу. Для досягнення цієї мети застосовують такі методи, як легування, пластична деформація, термічна, термомеханічна та хіміко-термічна обробки. Підвищення міцності за допомогою цих методів базується на ряді структурних факторів, таких як збільшення щільності дислокацій. Щільніша дислокаційна структура сприяє вищому опору пластичній деформації [13].

До факторів зміцнення матеріалу валів-шестерень відносяться наступні методи:

Створення дислокаційних бар'єрів: Цей метод включає подрібнення зерен, що супроводжується збільшенням протяжності меж зерен, сприяючи вищій опорі пластичній деформації. Також гальмування дислокацій досягається за рахунок дисперсії частинок вторинних фаз, що суттєво гальмують рух дислокацій.

Утворення полів пружних напружень: Збудження полів пружних напружень в решітці кристалів навколо точкових дефектів, таких як вакансії та домішкові атоми, спотворює кристалічну ґратку.

Утворення атмосфер Коттрелла: Цей метод передбачає виникнення атмосфер Коттрелла, створених атомами впровадження, які гальмують рух дислокацій.

Ці методи сприяють підвищенню конструкційної міцності матеріалу, однак важливо зберігати баланс між міцністю та пластичністю для забезпечення оптимальної надійності в умовах експлуатації. Також використання технологічних методів поверхневого зміцнення, таких як поверхневе ґартування, хіміко-термічна обробка (ХТО) і поверхневе

пластичне деформування, може допомогти підвищити циклічну міцність і зносостійкість валів-шестірень [14].

Металургійні методи спрямовані на досягнення високої чистоти металу чи сплаву, видаляючи шкідливі домішки, такі як сірка, фосфор і газоподібні елементи (кисень, водень, азот), а також неметалеві включення, залежні від змісту. Конструкторські методи націлені на забезпечення рівномірної міцності високонапружених деталей, уникаючи різких перепадів жорсткості, глибоких канавок, малорадіусних жолобів та інших конструктивних надрізів. У випадках, коли уникнення цього неможливе, застосовують місцеве зміцнення для утворення залишкових напружень стиску.

Хіміко-термічна обробка (ХТО) - це технологічні процеси, спрямовані на дифузійне насичення поверхневого шару деталей різними елементами. Мета ХТО включає підвищення твердості, зносостійкості, опору втомі та контактної витривалості, а також захист від електрохімічної та газової корозії. Залежно від умов роботи валів-шестірень, ХТО може бути виконана цементацією, нітроцементацією, азотуванням, гартуванням та низьким відпуском. Ці методи застосовують для покращення витривалості та опору втомі деталей машин, які працюють у різних режимах та умовах тертя.

Матеріали, використовувані для виготовлення деталей, які піддаються нітроцементації або цементації, повинні мати оптимальний вміст легувальних елементів. Цей вміст не повинен бути надто високим, але має забезпечувати необхідну прогартованість поверхневого шару та серцевини, а також обмежувати ріст зерна аустеніту під час нагріву. Процеси цементації (0,5–2,0 мм) або нітроцементації (0,4–0,8 мм) та наступне закалювання й низький відпуск збільшують межу міцності на 50–80%, межу контактної витривалості на 60–80%, зносостійкість в 3–20 разів, довговічність в 5–10 разів, і опір фреттинг-корозії в 2–5 разів. Твердість серцевини складає 28–40 HRC, а шару – 58–62 HRC. Найбільша довговічність у області малоциклової втоми досягається при високому рівні в'язкості серцевини. Зі збільшенням товщини

цементованого шару і вмісту вуглецю в ньому в'язкість руйнування зменшується [15].

Підвищення вмісту вуглецю на поверхні шару понад 0,7–0,8% також істотно знижує σ_{-1} . Максимальне зміцнення після цементації (або нітроцементації) спостерігається, коли шар складається з мартенситно-аустенітної структури, а серцевина та шар мають дрібнозернисту структуру, позбавлену дефектів, таких як карбідна або троостітна сітка, а також відсутні виділення карбонітридів хрому та темної складової під час нітроцементації.

Отже, щоб уникнути дефектів зміцненого шару під час хіміко-термічної обробки, необхідно застосовувати заходи для їх усунення під час остаточної механічної обробки. Важливим фактором у конструктивній міцності деталей є товщина зміцненого шару. Оптимальна товщина шару (700 HV або 500 HV) визначається належним співвідношенням товщини шару до характерних розмірів деталі [14].

Твердість на поверхні зуба також грає важливу роль у запобіганні його крихкого руйнування, не повинна перевищувати 63 HRC, а в серцевині бути у межах 30-45 HRC. Зі збільшенням твердості серцевини, наприклад, за рахунок зростання вмісту вуглецю в сталі, збільшується межа контактної витривалості зубчастих коліс, проте одночасно збільшується ризик крихкого руйнування [14].

Нітроцементація має деякі переваги перед цементацією: вона зміщує критичні точки перетворень на більш низькі температури, дозволяючи знизити температуру процесу до 810-850°C замість 910-1050°C, що зменшує викривлення виробів. Цей процес також призводить до меншого росту аустенітного зерна, порівняно з процесом цементації. У багатьох випадках процес нітроцементації відбувається швидше, а також частіше не потребує подальшого закалювання через повторний нагрів, яке необхідне при цементації [14-16].

Наразі для певних деталей та вузлів машин використовують конструкційні низьковуглецеві сталі типу (20 ... 30) ХГТ, які працюють при високих навантаженнях. Однак зносостійкість та втомна міцність цих сталей після звичайної термообробки (закалювання при 850°C з наступним відпуском для досягнення необхідної твердості) є недостатніми.

Для усунення цього недоліку, щоб підвищити експлуатаційні властивості сталі, наприклад, 25ХГТ, можна застосувати хіміко-термічну обробку (ХТО) у вигляді пастоподібного карбюризатора, що містить вуглецево-азотні компоненти. Карбюризатор у формі пасти (обмазки) наноситься безпосередньо на будь-які зміцнені поверхні, що сприяє активній реакції генерації азоту та вуглецю до поверхні сталі, де вони адсорбуються та проникають усередину матеріалу деталі. За такого механізму витрати компонентів карбюризатора мінімальні, а насичувальна здатність висока.

Для поліпшення зносостійкості і твердості зубів валів-шестерень використовують методи зміцнення [16], такі як поверхневе гартування, нітроцементация, цементация, азотування та застосування зносостійких покриттів. Основні методи термічної і хіміко-термічної обробки включають:

Поверхневе гартування з нагріванням СВЧ (для виробів малих і середніх розмірів) або ацетиленовим полум'ям. Застосовується для сталей 45, 40Х, 40ХН, досягаючи твердості до 50-55 HRC.

Цементация - насичення вуглецем поверхневого шару металу з подальшим гартуванням. Використовується для сталей 15, 20, 20Х, 18ХГТ і т. д., досягаючи твердості до 58-63 HRC.

Азотування - насичення поверхневого шару азотом без подальшого гартування. Застосовується для сталей 38Х2МЮА та інших, які містять молібден; 40Х, 40ХМ, 40ХНМА. Зуби не шліфуються.

Ціанування - насичення вуглецем і азотом, зокрема нітроцементация, з подальшим гартуванням. Використовується для сталей 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ і ін., досягаючи твердості до 60-63 HRC.

Лазерне гартування досягає твердості до 64 HRC і не потребує складного легування сталей, не викликаючи викривлення [17].

1.5 Перетворення при термічній обробці шестерень із теплостійких сталей

Термічна обробка передбачає нагрівання та охолодження заготовок для створення необхідної структури та властивостей матеріалу. Охолодження визначає кінцеві результати обробки, формуючи структурно-фазовий склад та фізико-механічні властивості сталі.

Дослідження впливу умов охолодження на структуру та властивості сталей здійснюються на основі діаграм ізотермічного перетворення аустеніту. Ці діаграми побудовані у вигляді «температура - час», де час відображений у логарифмічній шкалі.

Процес розпаду переохолодженого аустеніту в ізотермічних умовах вивчають при фіксованій температурі, змінюючи лише тривалість ізотермічної витримки [1]. Під час експериментів зразки нагрівають до різних температур у зоні аустеніту. Після відповідної витримки при температурі нагріву, зразки швидко охолоджують до певної субкритичної температури, на якій проводять витримку для розвитку перетворення. Це охолодження має відбуватися швидко, щоб уникнути змін у хімічному складі аустеніту.

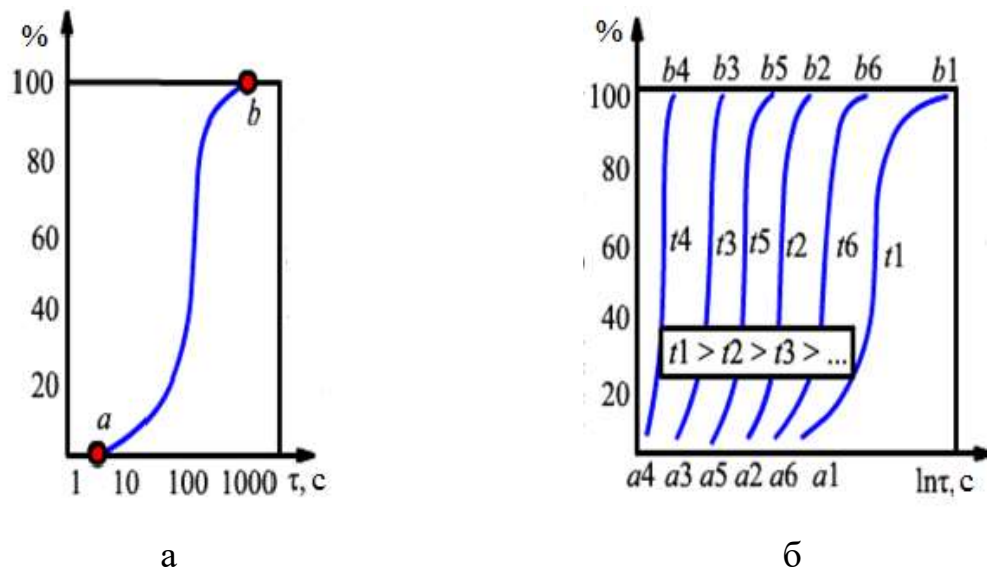
Перетворення аустеніту в перліт відбувається через розпад аустеніту у відносно чисте α -залізо і цементит. Цей процес починається при певному переохолодженні, коли енергія перліту стає меншою, ніж енергія аустеніту. Чим нижче температура перетворення, тим більше переохолодження та різниця у вільних енергіях, що сприяє швидкості перетворення.

Процес розпаду аустеніту супроводжується утворенням фаз, які суттєво відрізняються за складом від вихідної аустенітної фази. Нові фази включають

ферит, майже вільний від вуглецю, і цементит, що містить значну кількість вуглецю (6,67%). Отже, процес перетворення аустеніту в перліт супроводжується переміщенням та перерозподілом вуглецю. Швидкість переміщення вуглецю різко зменшується зі зниженням температури. Збільшення ступеня переохолодження сприяє прискоренню процесу перетворення за рахунок зменшення вільної енергії системи, однак низька температура уповільнює цей процес через знижену активність дифузійних процесів та недостатню можливість накопичення необхідної кількості вуглецю для утворення цементиту. На практиці зі збільшенням переохолодження швидкість перетворення спочатку зростає, досягає максимуму при певному значенні переохолодження, а потім зменшується. При температурі 727°C і нижче 200°C швидкість перетворення стає нульовою, оскільки при 727°C вільна енергія стає однаковою, а при 200°C дифузія вуглецю стає недостатньою для продовження процесу [18].

У процесі аустенітно-перлітного перетворення, ключовою фазою, що виникає першою, є карбід заліза (цементит). Його зародки, як правило, формуються на границях зерен аустеніту. Під час зростання часток карбиду, навколишній об'єм аустеніту, який прилягає до цього карбиду, втрачає вуглець, розчинений у γ -залізі, і переходить у кристалічну ґратку α -заліза. Феритні кристалики виникають на границі з цементитом, що полегшує цей процес. Подальший ріст феритних пластинок призводить до збагачення навколишнього аустеніту вуглецем, що ускладнює подальший розвиток перетворення. У вуглецем насиченому аустеніті формуються нові пластинки цементиту. Це призводить до колективного росту кристаликів фериту і цементиту, що створює перлітну структуру [19].

Процеси розпаду аустеніту при певних рівнях переохолодження можуть бути наочно проілюстровані за допомогою діаграм ізотермічного перетворення аустеніту (діаграм С-подібні), які базуються на термодинамічних кривих розпаду (рис. 1.2).



а Кінетична крива перетворення аустеніту в перлит для визначеної температури

б кінетичні криві перетворення при різних температурах

Рисунок 1.2 – Кінетична крива перетворення аустеніту в перлит для визначеної температури, кінетичні криві перетворення при різних температурах

Точка "а" на графіку показує момент, коли відбувається початок перетворення, а точка "b" вказує на завершення цього процесу. Положення кривих на графіку для відповідних температур перетворення залежить від ступеня переохолодження (рис. 1.2, б) [17].

Зі збільшенням переохолодження час, необхідний для початку перетворення (інкубаційний період), спочатку зменшується до температур, близьких до 500°C, а потім, внаслідок істотного зниження інтенсивності дифузійних процесів, починає збільшуватися. Будуючи точки початку і завершення перетворення для конкретних температур на графіку температури від часу, отримуємо ізотермічні криві розпаду аустеніту (діаграми подібні до букви «С»).

Перетворення аустеніту в перліт підпорядковане загальним принципам кристалізації:

Рушійна сила перетворення полягає у зниженні вільної енергії сплаву через перетворення аустеніту в перліт або інші структури та фази.

Перетворення аустеніту в реальних умовах вимагає певного ступеня переохолодження (Δt). Тому аустеніт може протягом певного часу існувати у переохолодженому та нестійкому стані.

Процес перетворення аустеніту в перліт, як і у всіх структурних перетвореннях, передбачає утворення та ріст кристалізаційних центрів нової фази. Швидкість розпаду аустеніту залежить від кількості цих кристалізаційних центрів і швидкості росту кристалів з цих центрів. Параметри кристалізації змінюються в залежності від ступеня переохолодження, що досягається через зміну швидкості охолодження.

Підвищення швидкості охолодження та, відповідно, ступеня переохолодження призводить до утворення менших зерен у продуктах розпаду аустеніту. Це призводить до збільшення твердості, меж міцності і пластичності сталі [5].

Процеси розпаду переохолодженого аустеніту класифікуються на два типи:

дифузійний, який включає перетворення в перліт та проміжний (бейнітний);

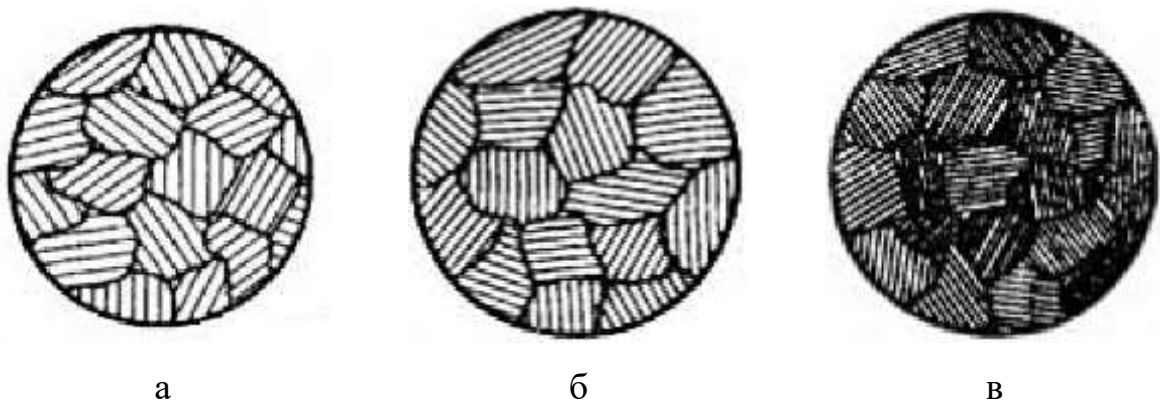
бездифузійний, такий як мартенситний.

Характерною особливістю перлитного перетворення є кооперативне зростання двофазної перлитної колонії шляхом дифузійного утворення фериту і цементиту. Центром утворення перлитної колонії може бути або цементит, або ферит, зародження яких полегшене на межах аустенітних зерен.

Основною фазою при утворенні перлиту є цементит. Спочатку утворюється пластинка цементиту, що продовжується і товщає доти, поки вміст вуглецю в навколишніх об'ємах зерна аустеніту не зменшиться настільки, що утвориться пластинка фериту. Потім відбувається утворення нових

(вторинних) пластинок цементиту і фериту. Звичайно у вихідному зерні аустеніту виникає декілька таких ділянок перлиту. Розмір пластинок перлиту залежить від ступеня переохолодження аустеніту [17].

При розпаді аустеніту в температурному діапазоні від A_1 до 650°C міжпластинчаста відстань в колонії дорівнює $0,5 \dots 1$ мкм, будову добре видно при середніх збільшеннях в мікроскопі, твердість складає $170 \dots 230\text{HB}$, і такий евтектоїд називають перлитом (рис.1.3, а) [18].



а- перлит; б – сорбіт; в – троостит;

Рисунок 1.3 – Структури перлитного розпаду аустеніту: а – перлит (температура перетворення $\sim 700^\circ\text{C}$); б – сорбіт (температура перетворення $\sim 650^\circ\text{C}$); в – троостит (температура перетворення $\sim 450^\circ\text{C}$) [19]

Підвищення ступеня переохолодження аустеніту спричинює збільшення дрібнодисперсної структури перлиту, утворення структури, відомої як сорбіт, на температурному інтервалі 650 до 600°C [20]. В цій структурі цементит має малий розмір пластинок. Твердість сорбіту перевищує твердість перлиту, досягаючи значень від 230 до 330HB , а розмір міжпластинчастої відстані становить $0,2$ до $0,4$ мікрометра. Характеристики сорбіту можна побачити тільки при великому збільшенні оптичного мікроскопа (див. рис. 1.3, б).

Розпад аустеніту в температурному інтервалі від 600°C до $t_{\min}$ призводить до утворення троститу, який представляє собою дисперсну

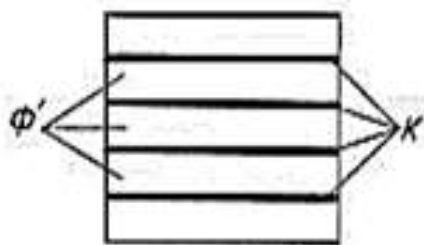
структуру (яка виявляється тільки при електронному мікроскопічному дослідженні), з міжпластинчастою відстанню до 0,1 мікрметра і твердістю від 330 до 400 НВ (див. рис. 1.3, в).

Отже, структури перліту, сорбіту та троститу, як фазові суміші фериту і цементиту, відрізняються за своєю структурою в залежності від ступеня дисперсності пластинок цементиту і фериту [21].

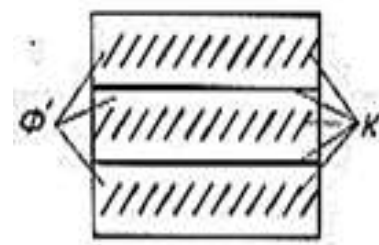
Процес бейнітного перетворення є більш складним порівняно з перлітним і мартенситним. Однією з ключових особливостей бейнітного перетворення є його відбування в температурному діапазоні, коли практично відсутня самодифузія заліза та легуючих елементів, але продовжується інтенсивна дифузія вуглецю. Внаслідок цього аустеніт втрачає вуглець через утворення карбідів, після чого пройшовший дифузійне поширення вуглецю відбувається мартенситний перетворення.

При високих температурах, близьких до перлітного перетворення, зміни в концентраціях вуглецю більш виразні, ніж при низьких температурах, наближених до точки Мартенситного перетворення. Це призводить до відмінностей у мікроструктурі та властивостях верхнього і нижнього бейніту.

Верхній бейніт утворюється в інтервалі температур 550 до 350 °С. Його структура складається з рейок бейнітного фериту (Φ'), між якими розташовуються витягнуті частинки карбиду (К) (див. рис. 1.4, а).



а



б

а) Верхній бейніт;

б) Нижній бейніт

Рисунок 1.4 – Схеми будови верхнього і нижнього бейніту

Ця структура має перисту форму і характеризується несприятливою комбінацією механічних властивостей: знижена міцність (через збереження аустеніту, що не розпався) поєднується з низькою пластичністю і в'язкістю.

Мартенситне перетворення істотно відрізняється від перлітного, оскільки не повністю підпорядковується загальним законам кристалізації у твердому стані. При значному переохолодженні (до температури, що відповідає точці початку мартенситного перетворення M_p для конкретної сталі) утворюються голки (пластинки) мартенситу практично миттєво, але подальший їх ріст не спостерігається. Це пояснюється тим, що мартенситне перетворення, на відміну від перлітного, є процесом без дифузії (хімічний склад мартенситу не відрізняється від складу вихідного аустеніту).

Мартенсит представляє собою упорядкований пересичений твердий розчин, в якому вуглець втілено в α -залізі. Він є пересиченим тому, що розчинність вуглецю у $Fe\alpha$ при кімнатній температурі становить 0,006%, як вказано на діаграмі Fe_3C . У мартенситі вміст вуглецю може сягати 2%, що відповідає концентрації у вихідному аустеніті. Мартенсит має тетрагональну кристалічну ґратку, в якій один параметр, c , більший за інший, a .

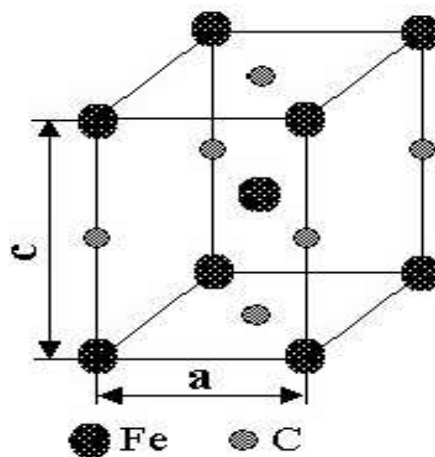


Рисунок 1.5 – Кристалічна ґратка мартенситу

При збільшенні вмісту вуглецю в мартенситі збільшується висота тетрагональної призми, а розміри основи зменшуються. Це означає, що

більший вміст вуглецю веде до більшої тетрагональності ґратки. Відношення c/a , де C - концентрація вуглецю в мартенситі, визначає ступінь цієї деформації і тетрагональності.

Мартенсит є твердим і крихким компонентом. Його твердість коливається в межах 6500-7600 НВ або HRC 62-66. Висока твердість пояснюється зміною кристалічної ґратки $Fe\alpha$ внаслідок включення атомів вуглецю, а також утворенням дрібних блоків пластин мартенситу через внутрішньофазове наклепання. Збільшення об'єму сталі при перетворенні аустеніту в мартенсит спричиняє фазовий наклеп, але на відміну від аустеніту, мартенсит володіє магнітними властивостями.

Мартенситне перетворення відбувається лише за умови, що дифузійні процеси відсутні. Це можливо лише за великої ступеня переохолодження аустеніту, що досягається високою швидкістю охолодження сталі (сотні градусів на секунду). При менших швидкостях охолодження формуються структури перліту, такі як сорбіт і тростинит, замість мартенситу. Швидкість охолодження, що спричиняє утворення мартенситу в структурі сталі, визначають як критичну швидкість гартування. Для отримання сталі, що містить мартенсит, необхідно охолоджувати її з швидкістю, що перевищує критичну швидкість гартування, яка залежить від складу сталі [21].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Хімічний склад досліджуваних сталей

В роботі розглядається ряд теплостійких сталей які піддаються цементації Хімічний склад наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталей, які досліджуються

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	W	Mo	Nb	Ce
20X3MBФ	0,16- 0,21	≤0,40	0,25- 0,60	2,40- 3,30	≤0,50	0,60- 0,85	0,30- 0,50	0,35 - 0,55		
16X3NBФМБ	0,10- 0,16	≤0,60	0,40- 0,80	2,70- 3,20	0,80- 1,20	0,15- 0,30	0,60- 0,90	1,60 - 2,10		
13X3NBМ2Ф	0,14- 0,19	0,60- 0,80	0,40- 0,60	2,60- 3,00	1,00- 1,50	0,45- 0,55	1,00 -1,40	0,40 - 0,60	0,10- 0,20	0,01 - 0,05
17XNB4МФ	0,15- 0,20	0,4- 0,8	≤0,6	1,0- 1,8	0,8- 1,2	0,15- 0,30	3,5- 4,2	0,6- 1,0		

Зразки виплавлялись на заводі Дніпроспецсталь із використанням електродугового переплаву.

З прокатаних прутків діаметром 50 мм виготовляли заготовки зразків, які піддавались куванню та наступному попередньому термічному обробленню. Нормалізація проводилася при температурі 910–930 °С, високий відпуск – при 660–670 °С. Зразки механічно обробляли до розміру 3x20x200 мм, після чого піддавали хіміко-термічній (ХТО) за таким режимом: наскрізна цементация при температурі 1020–1030 °С протягом 5,5–6 годин, гартування від температури цементации в олії, та наступний відпуск при 520–540 °С.

2.2 Спосіб цементации зразків

Технологія передбачає проведення процедури зміцнення в газовому середовищі. Для цементации можуть використовуватися природні, синтетичні або піролізні гази. На практиці найбільшого застосування набули метан, пропан і бутан. Під час температурних впливів окис вуглецю і природний метан підлягають розкладанню. Під час розкладання утворюється атомарний вуглець, який сприяє цементации сталевих деталей. Для отримання цього ефекту потрібно набагато менше часу, ніж за звичайної технології з твердим карбюризатором. При цьому нагрівання й охолодження відбувається швидше.

Також при газовій цементации сталі допускається застосування рідких карбюризаторів, які вводяться всередину печі крапельним способом. Поступова дозована подача сприяє їх повному згорянню та утворенню необхідних для зміцнення газів. Як горючі рідини застосовуються гас, бензол і різні масла. Застосування рідких речовин є допустимим. Однак використання газоподібних сумішей і чистих газів здатне забезпечити більш якісний ефект цементации з мінімальним вмістом коксу.

Газова цементация проводилась у модернізованій печі СШЦМ–4.6/10,5, яка була адаптована для високих експлуатаційних температур. У процесі використовувались газові карбюризатори, такі як газ, синтин або піробензол.

Обсяг карбюризаторів був розрахований так, щоб забезпечити однорідну концентрацію вуглецю приблизно 1% на всій товщині зразків, і при цьому уникнути утворення надлишкових карбідів. Витрати карбюризаторів складали від 0,8 до 1,0 см³/хв.

Процес газової цементації має низку переваг порівняно з цементацією в твердому карбюризаторі:

- підвищується продуктивність процесу порівняно з цементацією в твердому карбюризаторі, оскільки не потрібно витрачати час на пакування і прогрівання ящиків;
- скорочується потрібна виробнича площа і кількість робочої сили;
- скорочується потреба в жаростійкому матеріалі;
- з'являється можливість регулювання процесу для отримання цементованого шару заданої глибини і насиченості;
- зменшується деформація деталей внаслідок більш рівномірного нагрівання до робочої температури;
- поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці;
- з'являється можливість загартування деталей безпосередньо після цементації;
- дає змогу повністю механізувати й автоматизувати процес.

2.3 Дослідження мікроструктури

При приготуванні зразків для металографічного дослідження проводили їх щавлення в 4 %-му спиртовому розчині HNO₃; для вивчення структури використовувався мікроскоп МИМ-8.

Металографічний мікроскоп МИМ-8 використовує оптичну мікроскопію, засновану на використанні білого світла, оптичних лінз, призм та іншого

обладнання. Цей мікроскоп забезпечує збільшення до 1440 та 1350 раз при візуальному спостереженні, а також до 2000 раз при фотографуванні.

MIM-7 має вертикальну конструкцію та складається з оптичної системи з фотографічною апаратурою, освітлювального обладнання та механічної системи. Оптична система включає об'єктив, окуляр, дзеркала та призми. Об'єктив і окуляр формують складну систему лінз для отримання збільшеного зображення об'єкту. Розглядаючи оптичну схему, світло з джерела проходить через різні оптичні елементи та попадає на плоскопаралельну пластину. Частину світлового потоку проходить через пластину, а інша частина відбивається нагору через об'єктив та попадає на зразок.

Поліровану поверхню зразка піддають травленню для виявлення мікроструктури, зазвичай використовуючи 4% розчин азотної кислоти в спирті. Такий процес дозволяє виявити різні особливості структури сплавів, такі як полікристалічна будова та структурні компоненти.

2.4 Дослідження твердості за Роквелом

Сутність методу полягає у вимірюванні твердості, що визначається глибиною проникнення у випробуваний метал алмазного конуса з кутом при вершині 120° або сталевій загартованій кульки діаметром 1,588 мм під дією заданого зусилля.

Зусилля на наконечник (рисунок 2.1) докладають послідовно: спочатку попереднє F_0 , що дорівнює 100 МПа, потім основне F_1 . Сума попереднього й основного зусиль становить загальне зусилля F .

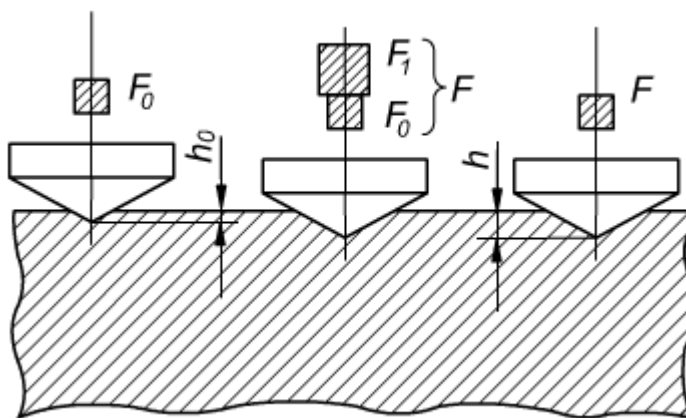


Рисунок 2.1 – Метод вимірювання твердості за Роквеллом

Проведення вимірювань і визначення числа твердості за Роквеллом регламентується відповідними документами ДСТУ ISO 6508-1:2013. Цей метод реалізується шляхом вдавнення в тестований матеріал інденторів - алмазного конуса або твердосплавної кульки. Алмазні індентори використовуються для тестування загартованих сталей і твердих сплавів, а твердосплавні кульки - для менш твердих і відносно м'яких металів.

Товщину цементованого шару визначають з допомогою макро- і мікроаналізу, а також виміром твердості. Макроаналіз дозволяє швидко визначити товщину з точністю, достатньою для виробничих умов. Для цього цементований зразок занурюють на 1...2 хв. в реактив складу: 2 г $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ і 1 мл HCl на 100 мл спирту. М'яка нецементована серцевина покривається червоним нальотом міді, а науглецьований шар не змінюється. Товщина шару вимірюється за допомогою лупи або мікроскопа Брінеля.

Цементований шар можна також виявити розчином гіпосульфіту на шліфованій поверхні металу. В результаті цієї взаємодії зерна фериту покриваються темною плівкою сірчастого заліза, а високовуглецева цементована смуга залишається світлою.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДПИЩЕННЯ ТЕПЛОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ

3.1 Легування теплостійких цементованих сталей

Свого часу велику кількість досліджень проводили для з'ясування впливу легувальних елементів на перетворення сталей, зокрема й цементованих. Нижче розглядається це питання.

Хром у сталі

Хромиста сталь на відміну від звичайної вуглецевої характеризується підвищеною стійкістю при відпуску. За високих температур гартування в середньовуглецевій і високовуглецевій хромистій сталі виявляється не тільки висока стійкість проти зниження твердості під час відпуску, а ще й нове підвищення твердості в ділянці температур відпустки 450...500°C. Обидва ефекти продовжуються тільки тоді, коли вміст Cr і вуглецю такі, наприклад, 1% C і 3-5% Cr, що можуть утворювати спецкарбіди. Причина підвищеної стійкості під час відпуску хромистої сталі, що містить спецкарбіди, полягає в тому, що під час низькотемпературного розпаду мартенситу відбувається виділення лише частини вуглецю (C, що міститься в мартенситі) у складі низьколегованого карбіду заліза. Значна ж частина вуглецю залишається у твердому розчині, що й спричиняє затримку в набутті твердості під час відпуску. За подальшого підвищення температури відпуску вуглець, що залишився, виділяється у формі дуже дисперсного спецкарбіду, що призводить до підвищення твердості принаймні до сильного уповільнення її падіння. Зазначається, що спецкарбіди мало схильні до коагуляції і тому зміцнюють α -фазу. Значне зростання твердості спостерігається при збільшенні вмісту хрому від 0,9 до 2,7 %. При подальшому збільшенні вмісту хрому до 5,7% твердість α -фази збільшується менш інтенсивно. У цементованих сталях сприятливий вплив хрому досить сильно позначається вже за 1 %, але вміст його у сталі збільшують до 3 % для підвищення прогартованості жароміцності,

зносостійкості дифузійного шару. Максимальна жароміцність досягається, якщо весь присутній хром перебуває у складі твердого розчину й утворення його карбідів ускладнене наявністю в сталі сильніших карбідоутворювальних елементів.

Вольфрам у сталі. Вольфрам при вмісті вище 0,5%, утворює карбід, що важко гоїться, затримує ріст зерна, за вмісту 1,0-1,3% сприяє зменшенню чутливості до перегріву під час цементації сталі. Вольфрам сприяє зміцненню сталі при високих температурах, значно підвищує тривалу міцність або за рахунок дисперсійного твердіння, що полягає на утворенні вторинних фаз, або за рахунок зміцнення твердого розчину, підвищуючи температуру його рекристалізації та ускладнюючи дифузійне переміщення вуглецю. Вольфрам, подібно до хрому, збільшує твердість і границю міцності сталі, сильніше ніж хром, підвищує стійкість проти відпуску. Збільшення вмісту вольфраму в сталі підвищує σ_b і σ_s за абсолютною величиною за підвищених температур експлуатації.

Молібден у сталі. Молібден, поряд з вольфрамом, є одним з основних - зміцнювачів сталі, що підвищують до того ж її жароміцність. Це зумовлено тим, що молібден ускладнює дифузію вуглецю, підвищує температуру рекристалізації фериту і здатність виділяти дрібнодисперсні фази. Молібден утворює карбіди MoC і Mo_2C , а в присутності Cr може утворюватися карбід $M_{23}C_6$, в якому розчиняється молібден, залізо і вольфрам. Молібден і вольфрам сприяють отриманню високих характеристик повзучості, тривалої міцності сталі й істотно знижують схильність до теплової крихкості. Вплив молібдену як карбідоутворювального елемента позначається на підвищенні стійкості проти відпуску, особливо під час гартування від високих температур. Жароміцність молібденових сталей стає помітною вже при загартуванні з $900^{\circ}C$.

Молібден при вмісті 0,5- 1,0% подрібнює карбіди, затримує ріст зерна, підвищує жароміцність і механічні характеристики, перешкоджає внутрішньому окисленню в процесі цементації, а також підвищує

загартованість сталей, які містять Cr, Mn, Si, Великого значення надається легування сталі молибденом, а саме легування сталі молибденом за кордоном. Так, поширення набули жаростійкі сталі із вмістом молибдену 2-9% і хрому 3-4%. Ці сталі мають високу твердість після відпуску, що дає змогу використовувати їх за температур 500-550°C. Вплив молибдену на властивості сталі близький до впливу вольфраму, але заміна молибденом вольфраму у співвідношенні 1:3 як було прийнято, не дає однозначних результатів.

Ванадій у сталі. Ванадій уже за невеликого вмісту (0,1-0,2% утворює карбід VC - малорозчинний в аустеніті під час нагрівання до 1000-1100°C. Тому ванадій ефективніше, ніж інші елементи, затримує ріст зерна аустеніту (особливо в евтектоїдних сталях), зменшує чутливість сталі до перегріву.

У заевтектоїдній сталі ванадій перешкоджає утворенню карбідної сітки та підвищує в'язкість після відпуску за 350-400°C. Ванадій, як молибден і вольфрам, збільшує жароміцність сталі тільки за підвищених температур загартування. Зміцнювальний вплив ванадію ґрунтується на його здатності утворювати стабільні дрібнодисперсні карбіди і викликати пов'язані з їх виділенням процеси дисперсійного твердіння. У разі збільшення вмісту ванадію в сталі необхідно збільшувати і кількість вуглецю, оскільки ванадій бере активну участь у карбідоутворенні та збіднює твердий розчин за вуглецем. Ванадій особливо сильно підвищує жароміцність сталей, що містять хром і молибден. Він пов'язує вуглець, що перебуває в сталі, і дає змогу переводити у твердий розчин більшість елементів, які зміцнюють сталь через твердий розчин, і в такий спосіб раціонально використовувати для зміцнення сталі молибден, хром і вольфрам.

Нікель у сталі. У цементованих сталях зазвичай присутній нікель, який сильно підвищує прогартованість і загартованість, а також є одним з тих елементів, під впливом яких піднімається поріг холодноламкості. При введенні в сталь нікелю разом із хромом підвищується не тільки міцність серцевини і шару, але також збільшується їх пластичність, зменшується чутливість до надрізу, що особливо важливо для деталей відповідального

призначення. Нікель сприятливо впливає на вміст вуглецю в цементованому шарі, перешкоджає перевищенню. Нікель слабо зміцнює ферит і не впливає на температуру знеміцнення сталі. Встановлено, що нікель залежно від складу сталі (особливо вмісту вуглецю) і термічної обробки може впливати на властивості сталі по-різному. З підвищенням вмісту вуглецю позитивний вплив нікелю на ударну в'язкість сталі та її температурний ресурс спочатку зменшується, а потім стає навіть негативним.

У літературі зазначають, що збільшення вмісту нікелю понад 4% не супроводжується підвищенням ударної в'язкості за низького відпуску, а за високого навіть дещо зменшується. Якщо вміст нікелю в сталі достатній для забезпечення прокалювання в заданому перерізі, то збільшення його технологічно недоцільно.

У результаті аналізу впливу легуючих елементів на властивості відливів (зокрема цементованих) можна зробити такі висновки:

- основу в легуванні теплостійких цементованих сталей мають становити елементи, карбіди яких розчиняються за нижчих температур, ніж карбіди вольфраму, тобто хром і молібден;

- зміцнюючи сталь; хром і молібден не тільки затримують зниження твердості під час відпуски, але навіть після високотемпературного загартування спричиняють підвищення твердості (вторинне затвердіння) в області температур 450-500°C;

- вольфрам у межах 0,4 - 0,8%, утворюючи важкорозчинні карбіди, затримує ріст зерна, збільшує твердість сталі та цементованого шару і підвищує стійкість сталі проти відпуску;

- ванадій, утворюючи малорозчинний до 1000- 1100°C карбід VC, затримує зростання зерна аустеніту.

- нікель, підвищуючи міцність і в'язкість, серцевини і цементованого шару сталі, крім того перешкоджає пересиченню сталі вуглецем під час цементації.

3.2 Режими хіміко-термічної обробки теплостійких сталей

Останніми роками розроблено теплостійкі цементовані сталі, комплексно леговані хромом, молібденом, нікелем, вольфрамом, ванадієм. Це сталі 17ХНВ4МФ, 16ХЗНВФМБ, що мають температури відпуску 300-350°C, а також сталь 13ХЗНВМ2Ф хімічний склад наведено в таблиці 2.1.

Як відомо, великий вплив на комплекс фізико-механічних властивостей цементованих сталей чинить режим хіміко-термічної обробки. Обраний режим ХТО дає змогу одержувати бажану структуру на всіх стадіях термообробки. На сьогодні на більшості заводів авіаційної промисловості найбільше місце посідає традиційний режим ХТО, який включає в себе: цементацію при 920-930°C, високий відпуск 650°C, гартування з 920...930°C, обробка холодом (-60°C). Крім того, широке поширення отримало застосування нітроцементзації. Введення азоту під час нітроцементзації дає змогу відпуск (до 300°C) дещо підвищити жароміцність поверхневого шару сталі під час низькотемпературного відпуску. Сприятливий вплив нітроцементзації низьколегованих сталей не викликає сумніву. Однак, для виготовлення жароміцних шестерень використовують сталі з підвищеним вмістом карбо- і нітродоутворюючих легуючих елементів: молібден, вольфрам, ванадій, хром. Утворення ж важкорозчинних карбонітридів може перешкоджати процесу переведення легувальних елементів у твердий розчин, зменшуючи тим самим жароміцність нітроцементованої поверхні.

За наявності в сталі значних кількостей карбідо- і нітродо**-утворювальних елементів нітроцементация чинить негативний вплив. Відомо, що для забезпечення стабільності структури і властивостей у процесі експлуатації, необхідно, щоб температура відпуску сталі перевищувала робочу температуру на 50-100°C. Це означає, що для забезпечення працездатності зубчастих коліс за температури 300°C їх необхідно відпускати за температур 350-400°C. Однак, після гартування з температури 920-930°C і

подальшого відпуску структура шару складається з мартенситу відпуску і металічного карбїду, який прагне перетворитися на більш стабільний карбїд цементатного типу. Встановлено, що в процесі контактного циклічного навантаження за робочих температур у цементованому шарі відбуваються дифузійні процеси, які ведуть до коагуляції карбїдів та їх укрупнення.

Як видно, структура мартенситу відпущеного не може бути прийнятною для роботи за підвищених температур. Набагато більшими можливостями щодо стабільності має структура, що отримується після обробки на вторинну твердість, на кшталт швидкорізальних сталей, основною зміцнювальною фазою, в яких є високодисперсні спеціальні карбїди, що вирізняються високою стійкістю під час тривалого нагрівання до високих температур.

Велика стійкість властивостей швидкорізальних сталей до температур нагріву 500-600°C наводить на думку, що застосування методу їхнього зміцнення для цементованих теплостійких сталей дасть змогу розв'язати завдання підвищення жароміцності цементованого шару. У результаті проведених досліджень було розроблено режим хіміко-термічної обробки теплостійких цементованих теплостійких сталей, яке дає змогу значно підвищити жароміцність цементованого шару. Режим цей полягає в цементації за 1000 - 1050°C, безпосередньому гартуванні з температури цементації в олію, чотирьох або п'ятикратному відпусканні за 500 -550°C.

Вибір температур цементації обумовлювався тим, що цементовані сталі леговані меншою кількістю легувальних елементів, ніж швидкорізальні сталі, що під час тривалих витримок у районі високих температур (>1100°C) дає структуру перегріву з надмірно збільшеним зерном і відповідно зниженими механічними властивостями. Крім того, зараз у деталях, для захисту місць, що не піддаються цементації, застосовують міднення, а температура плавлення міді 1080°C.

Обробка на вторинну твердість охоплює високий пуск при температурах 500-550°C, оскільки при цих температурах дифузійна рухливість атомів

вуглецю і легувальних елементів достатня для утворення високодисперсних спеціальних карбідів, мало схильних до коагуляції до 550...600°C.

Необхідно зазначити, що малолеговані сталі не дають можливості отримувати вторинну твердість, а отже, непридатні для цього режиму. Сталі 16ХЗНВФМБ і ЭИ415 цементували за температур 1000 і 1050°C, а потім відпускали багаторазово за температур 500-530°C (дані наведено в таблиці 3.1).

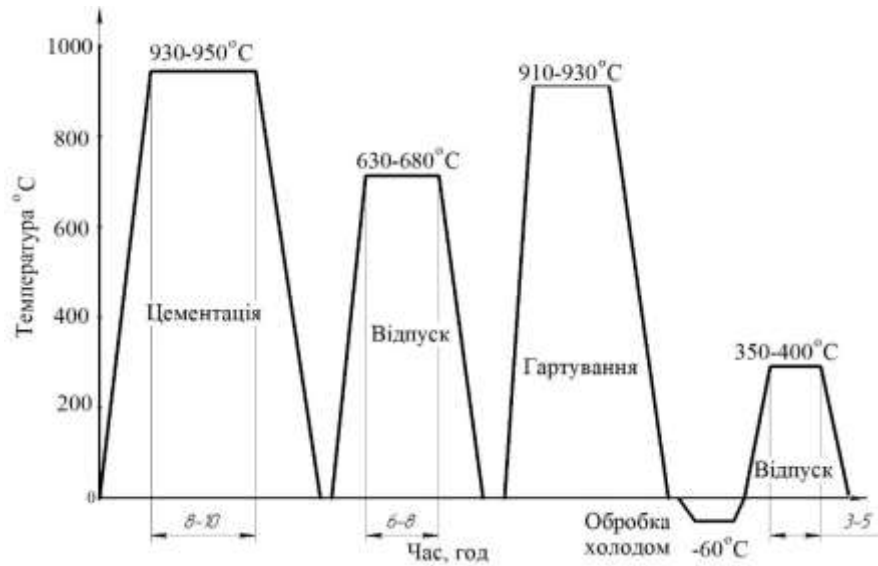
Таблиця 3.1 – Твердість після режимів термічної обробки

Марка Сталі	t°C цементация	HRC, гартування	t°C відпускання	HRC, після відпускання			
				1	2	3	4
ЭИ 415	1000	36-38	510	52	56	57	57
			530	56	57	57	56
	1050	34-35	510	51	56	57	57
			530	53	57	57	56
16ХЗНВФМБ	1000	38-40	510	51	55	58	56
			530	56	58	58	57
	1050	34-36	510	52	57	58	57
			530	55	56	57	57

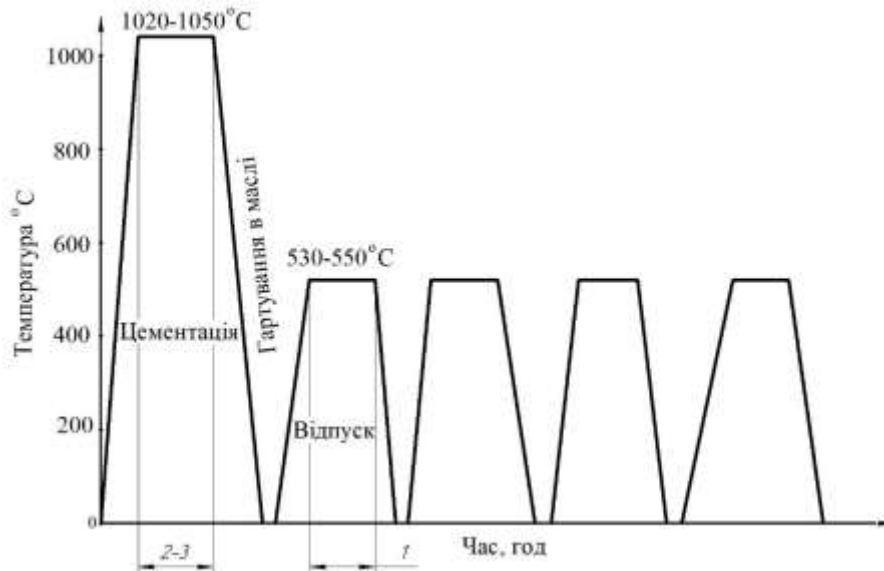
Як видно з таблиці твердість остаточно оброблених зразків не перевищує оброблених зразків не перевищує 56-58 HRC. Підвищення температури цементації до 1050°C не призвело до підвищення вторинної твердості, а тільки супроводжувалося зростанням аустенітного зерна.

3.3 Дослідження впливу ХТО на сталь 13ХЗНВМ2Ф

Хімічний склад сталі наведено в таблиці 2.1. Режим ХТО використовувались як звичайний так і для здобуття вторинної твердості. Режими наведені на рис. 3.1



а



б

а – стандартний режим; б – режим вторинної твердості;

Рисунок 3.1 – Режими ХТО для сталі 13ХЗНВМ2Ф

Зразки зі сталі 13Х3НВМ2Ф досліджувалися в процесі хіміко-термічної обробки за двома режимами. При обробці за I (традиційним) режимом перетворення в сталі не відрізняються від перетворень у сталях цього класу. Структура цементованого шару сталі 13Х3НВМ2Ф після обробки за першим режимом представлена на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Структура цементованого шару після обробки за стандартним режимом

Після цементації 950 °С, 6...9 годин, з охолодженням в газовому середовищі фіксується така структура: мартенсит + троостит + бейніт + карбіди, HRC 48 ... 52.

Перетворення в структурі цементованого шару під час обробки за режимом розрахованого на вторинну твердість різко відрізняються від звичайних перетворень у сталях після ХТО. Структура після гартування наведена на рисунку 3.2.

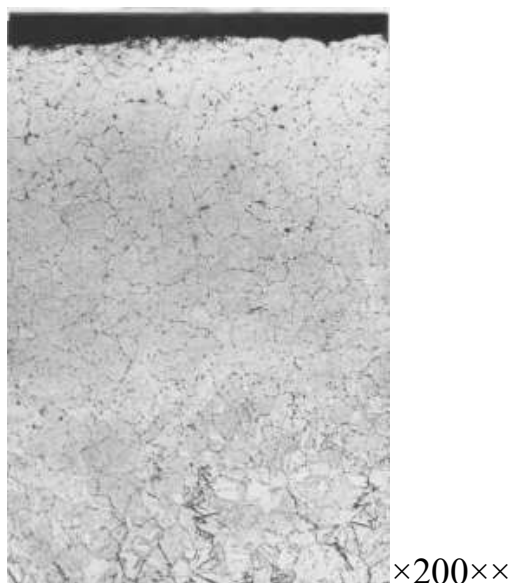


Рисунок 3.2 – Структура цементованого шару після безпосереднього гартування

Структура шару до глибини 0,3-0,4 мм являє собою аустеніт з надлишковими карбідами. Тут необхідно зазначити, що твердість цементованого шару після цементації та безпосереднього гартування сильно залежить від наявності легувальних елементів і концентрації вуглецю в поверхневому шарі. За вмісту вуглецю в шарі понад 0,8 % температура початку мартенситного перетворення в сталі зсувається в область негативних температур. За низької концентрації вуглецю аустенітна зона виходить вузькою, досить нестабільною (на поверхні аустеніт перетворюється на мартенсит), що негативно позначається на процесах вторинного твердіння. Гартівна твердість у межах 52-56 HRC, відпускна не вище 59 HRC.

За високої концентрації вуглецю в поверхневих шарах (особливо на гострих крайках, кутах) утворюються грубі скупчення карбідів, як показано на рис. 3.3 .

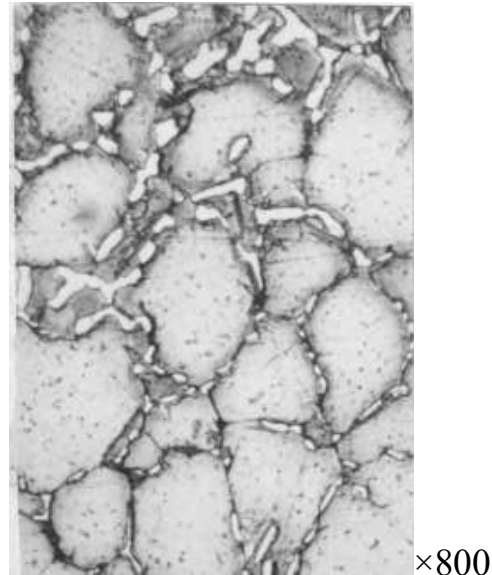


Рисунок 3.3 – Структура цементованого шару з пересиченням

Видно, що аустенітний шар досить широкий, причому аустеніт дуже стабільний і часто потребує додаткових відпусків (понад 4). На рис. 3.4. представлено графік зміни твердості цементованого шару в загартованому стані залежно від вмісту вуглецю на поверхні цементованого шару в загартованому стані залежно від вмісту вуглецю на поверхні (шар 0,9-1,1 мм).

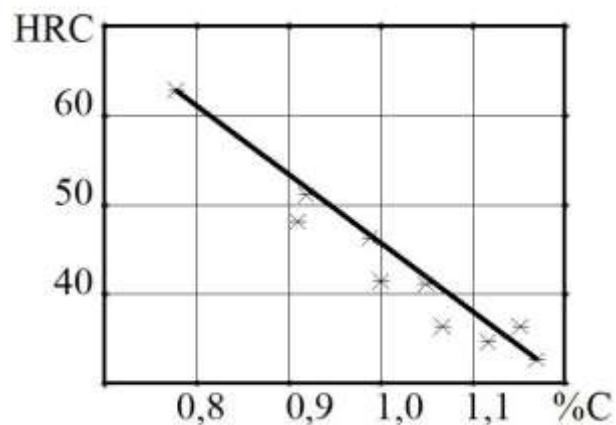


Рисунок 3.4 – Залежність твердості цементованого шару від вмісту вуглецю

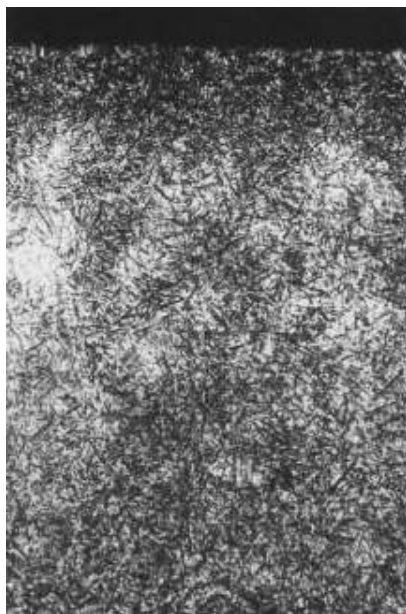
Після першого відпуску за температури 530°C у структурі відзначається початок розпаду аустеніту і поява перших мартенситних голок. Рисунок 3.5 а) ілюструє стан структури шару після першого відпуску.



а



б



в



г

а – перший відпуск ; б – другий відпуск; в – третій відпуск; г – четвертий відпуск

Рисунок 3.4 – Структура цементованого шару після відпуску

При другому відпуску в структурі відзначається подальший розпад аустеніту. Очевидно, у шарі прискорилися дифузійні процеси виділення вуглецю і легуючих елементів із твердого розчину, кількість мартенситу збільшилася. Структура шару після другого відпуску представлена на рис. 3.4 б. Під час нагрівання й охолодження зразків на зрілому, третьому та четвертому відпусках у структурі спостерігається подальший розпад аустеніту з утворенням мартенситу і дрібних карбідів, що показано на рис. 3.4 в, г. У структурі шару остаточно обробленої сталі кількість залишкового аустеніту не перевищує 10%.

Залежність розподілу твердості та вуглецю після цементації наведено на рисунку 3.5.

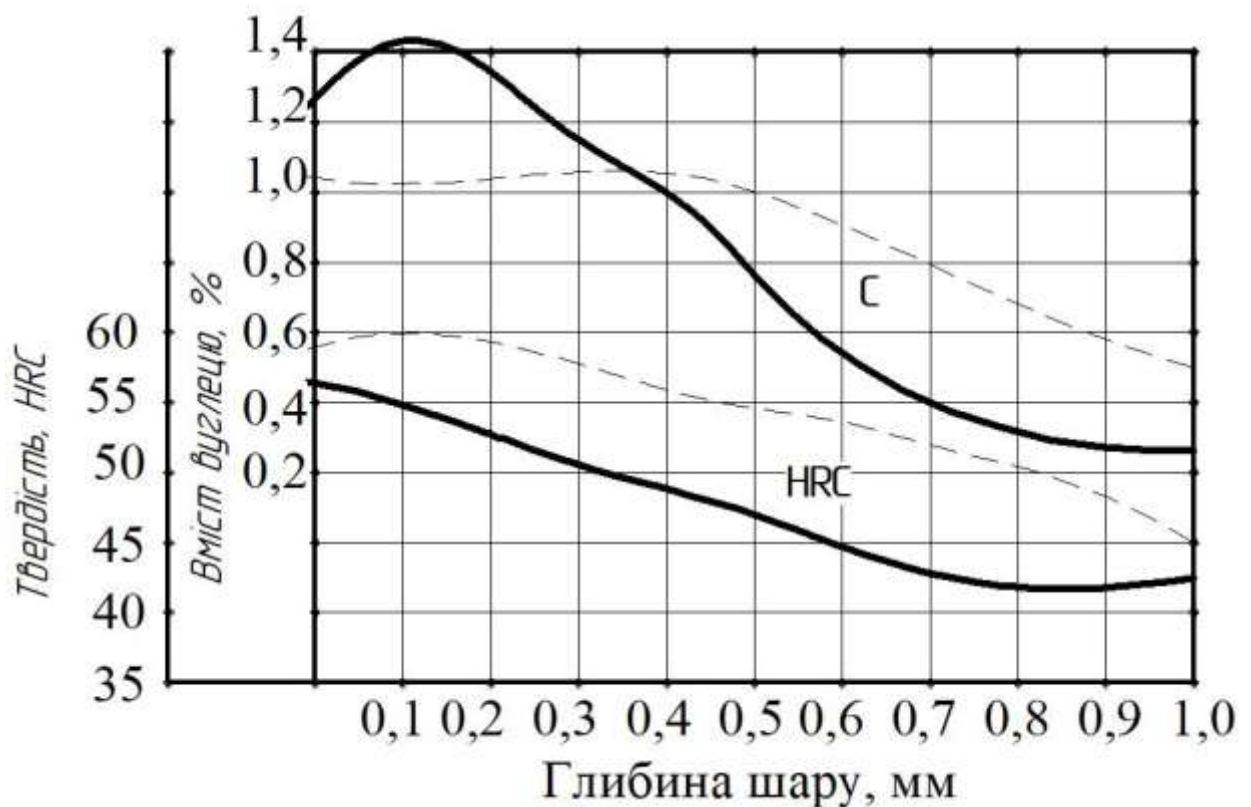


Рисунок 3.5 – Розподіл вуглецю та твердості по глибині цементованого шару

Особливе значення для цементованих виробів, що працюють за значних динамічних навантажень і великих тисків у зоні контакту, має розподіл концентрації вуглецю і твердості за глибиною цементованого шару. За високої

концентрації (понад 1,2%С) надлишковий вуглець виділяється по границях зерен у вигляді грубих скупчень і сітки, що значною мірою впливають на збільшення крихкості цементованого шару. Не менш важливим є зв'язок цементованого шару з серцевиною, причому він буде тим міцнішим, чим більш плавно знижується концентрація вуглецю по глибині цементованого шару. Графік, представлений на рис , свідчить про дуже плавний розподіл вуглецю і твердості за глибиною цементованого шару після ХТО за другим режимом. За однакової глибини шару (0,9-1,1 мм) концентрація вуглецю на глибині 0,6 мм від поверхні становить 0,82% С.

Як уже зазначалося вище, ХТО сталі 13Х3НВМ2Ф на вторинну твердість полягає в цементації за 1030 – 1050°С з безпосереднім гартуванням в маслі (20-180°) і подальшому 4- ти кратному (по 1 годині) відпусканню при температурі 530±10°С.

Для отримання вторинної твердості (60-61 HRC) і забезпечення комплексу властивостей шару і серцевини сталі 13Х3НВМ2Ф оптимальною є температура відпуску 530±10°С. У зв'язку з тим, що після гартування в шарі (до глибини 0,3-0,4 мм) фіксується приблизно 90% аустеніту, необхідне проведення декількох відпусків.

Процес термообробки передбачає безпосереднє гартування з цементаційного нагрівання. Гартівним середовищем є масло. Для зменшення викривлення деталей типу валиків, шестерень рекомендується проводити гартування в гаряче масло (180°С). Рихтування подібних деталей в остаточно термообробленому стані через високу міцність серцевини. Тому допускається проведення рихтування деталей у загартованому стані з подальшим відпуском.

Перетворення аустеніту в мартенсит відбувається при охолодженні після відпуску. Це перетворення відбувається не по всій глибині шару одночасно. Воно можливе в тих зонах шару, де під час ізотермічної витримки 530°С температура M_n аустеніту, що залишився, буде вищою за кімнатну температуру, і між відпусками деталі охолоджуються до цієї температури. Якщо ж після відпусток деталі не охолоджувати до 20-25°С, то навіть після

п'ятого відпустки в структурі шару може залишатися понад 20% залишкового аустеніту. На рисунку 3.6 наведено мікроструктуру після повного циклу хіміко-термічної обробки.



Рисунок 3.6 – Оптимальна структура цементованого шару сталі після остаточної термічної обробки

Цементований шар після остаточної термообробки - мартенсит із дисперсними карбідами і залишковим аустенітом. Структура шару - оптимальна.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [22], а саме:

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [23].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина –800...1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для

ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) до основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

— захисне заземлення — це заземлення, яке виконане з метою електробезпеки, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блмання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову). Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін

експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

д) об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [24].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;
- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

- природне (бокове або верхнє);
- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;

- видавати повідомлення про пожежу та/або проникненні на блоці індикації;
- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;
- передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтатні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації.

4.5 Заходи безпеки в умовах НС

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись

і здійснюватися лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і тощо.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфозфрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з підвищеною ступеню стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і

водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерелах, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напівавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини мережі.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Мережі зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-

кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогнебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогнебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготувати склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідропоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг).

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Тема удосконалення термічної обробки теплостійких сталей може бути дуже актуальною з позиції маркетингу в ряді випадків. Ось кілька аспектів, які слід врахувати:

Поліпшення властивостей матеріалу: Якщо нові методи термічної обробки дозволяють покращити теплостійкість або міцність сталей, це може бути ключовим продажовим аргументом для інженерних та виробничих компаній, які використовують ці матеріали.

Енергозбереження та вартість виробництва: Якщо вдосконалення термічної обробки дозволяє зменшити енергоспоживання або витрати на виробництво, це може стати ключовим конкурентним перевагою на ринку.

Розширення ринків: Покращена термічна обробка може відкривати нові ринки для теплостійких сталей. Наприклад, у виробництві енергетичного обладнання, авіаційній промисловості або просто у галузі будівництва теплостійких споруд.

Маркетингові ініціативи: Ваша компанія може використовувати цю тему для проведення рекламних кампаній, участі у виставках та конференціях, публікацій у фахових журналах та інших маркетингових ініціатив.

Співпраця та партнерства: Якщо ваша компанія розробляє нові технології термічної обробки, можна розглядати можливості співпраці з іншими компаніями у вигляді партнерства або ліцензій.

Загалом, важливо вивчати ринок, розуміти потреби клієнтів і демонструвати переваги вашого продукту або технології в порівнянні з конкурентами. Також, створення партнерств та активна участь у галузевих подіях можуть сприяти визнанню та успішному позиціонуванню вашої компанії на ринку.

5.2 Послідовний аналіз

Вивчення теплостійких сталей включає аналіз напрямків їх застосування та вигід для споживачів (див. табл. 5.1). Основні компоненти цих сплавів, інтерметалідні фази, грають важливу роль у визначенні властивостей, таких як міцність, жорсткість, стійкість до корозії та теплопровідність. Результати досліджень можуть використовуватися для вдосконалення технологій виробництва, впровадження нових методів контролю якості та розробки нових теплостійких матеріалів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Вміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Удосконалення термічної обробки теплостійких сталей	Авіаційна промисловість, енергетика, хімічна промисловість.	Підвищення надійності й ресурсу деталей двигунів
		Збільшення терміну служби обладнання, що працює при високих температурах.
		Оптимізація витрат на обслуговування та ремонт хімічного обладнання

Ці дослідження відкривають перспективи для подальшого вдосконалення технологій виробництва теплостійких сталей, впровадження нових методів контролю якості та розробки інноваційних сплавів. Отримані знання про вплив морфології та топології інтерметалідних фаз на властивості матеріалу сприяють створенню продуктів, що відповідають вимогам ринку та

задовольняють потреби споживачів у високоякісних, міцних та термостійких матеріалах для різних промислових сфер.

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	2
Головні конкуренти	Interpipe (Україна), ArcelorMittal (міжнародна), Posco (Південна Корея).
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільне зростання попиту на теплостійкі сталі, зумовлене розвитком високотехнологічних галузей.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі бар'єри входу через необхідність значних капіталовкладень та високих технологій
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання міжнародних стандартів ISO, ASTM, а також національних стандартів країн-споживачів

Вивчені та визначені потенційні групи клієнтів теплостійких сталей включають різні галузі промисловості, де ці матеріали можуть знайти широке застосування. Характеристики та вимоги до товару можуть варіюватися в залежності від специфіки виробництва та використання матеріалів. Додатковою інформацією може бути надана у вигляді таблиці 5.3, де представлено орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи клієнтів:

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Висока міцність матеріалів при екстремальних температурах..	Виробники авіаційного та енергетичного обладнання, компанії хімічної промисловості	Авіаційна галузь акцентує на легкості та міцності, енергетика – на довговічності, хімічна промисловість – на корозійній стійкості	Висока надійність, тривалий термін експлуатації, оптимальна вартість.

SWOT-аналіз (аналіз сильних сторін, слабких сторін, можливостей та загроз) є важливим інструментом для оцінки стратегічного положення будь-якого проекту. Нижче представлено оцінку SWOT-аналізу для реалізації інноваційного проекту в галузі удосконалення термічної обробки теплостійких сталей:, а отримані результати наведені у таблиці 5.4.

SWOT-аналіз служить основою для розробки стратегії реалізації інноваційного проекту, сприяє виокремленню переваг та слабкостей, а також визначенню можливостей та загроз. Для успішної реалізації проекту важливо максимально використовувати сильні сторони та ефективно управляти слабкими, вибираючи оптимальний стратегічний напрямок.

SWOT-аналіз вказує на те, що необхідно ефективно використовувати сильні сторони, а також вдосконалювати та ліквідовувати слабкі сторони.

Заходи для використання можливостей та мінімізації загроз допомагатимуть проекту максимізувати його потенціал успіху.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Новітні технології термообробки, підвищення якості сталі, зниження виробничих витрат, розширення асортименту продукції, збільшення терміну служби готових виробів.	Великі капіталовкладення на старті, необхідність кваліфікованих фахівців, залежність від постачальників сировини, висока конкуренція на ринку.
Можливості:	Загрози:
Розвиток нових ринків збуту, диверсифікація продукції, співпраця з науковими інститутами для подальших інновацій, участь у державних та міжнародних тендерах.	Зміна законодавства у сфері екології, можливість появи нових технологічних рішень від конкурентів, коливання цін на сировину, зміцнення позицій імпортерів виробників на внутрішньому ринку.

Першим кроком у розробці ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку, яка визначає, яким чином продукт або послуга буде представлена на ринку та яким способом будуть охоплені цільові групи потенційних споживачів. У контексті удосконалення термічної обробки теплостійких сталей, розглянемо кілька можливих цільових груп (табл. 5.5).

Ці стратегії охоплення ринку дозволять ефективно налаштовувати маркетингові та продажові зусилля для досягнення успіху на ринку теплостійких сталей. Важливо розробляти індивідуальний підхід до кожної цільової групи та адаптувати стратегії відповідно до їхніх унікальних потреб і вимог.

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Великі промислові підприємства, малі та середні виробники спеціалізованого обладнання, науково-дослідницькі інститути.	Висока для великих підприємств, середня для МСП, залежить від інноваційної активності для наукових установ	Для великих підприємств в 2000 тонн на рік, для МСП 500 тонн на рік, для наукових установ 100 тонн на рік.	Висока серед великих підприємств, помірною у МСП, низька серед наукових установ.	Складна для великих підприємств через високі стандарти якості, середня для МСП, легша для наукових установ завдяки спеціалізованим потребам.

Було здійснено виявлення зацікавлених сторін та їх ранжування, що призвело до розробки Мапи зацікавлених сторін. Ця мапа сприяє графічному представленню відносин між різними зацікавленими сторонами. Для наочнішого зображення їх взаємодії було створено три концентричні зони. Центральна зона мапи зацікавлених сторін відображає сектор відповідальностей та компетенцій ініціатора проекту. Тут знаходяться ключові зацікавлені сторони, які мають безпосередній зв'язок з ініціатором, що полегшує процес управління проектом.

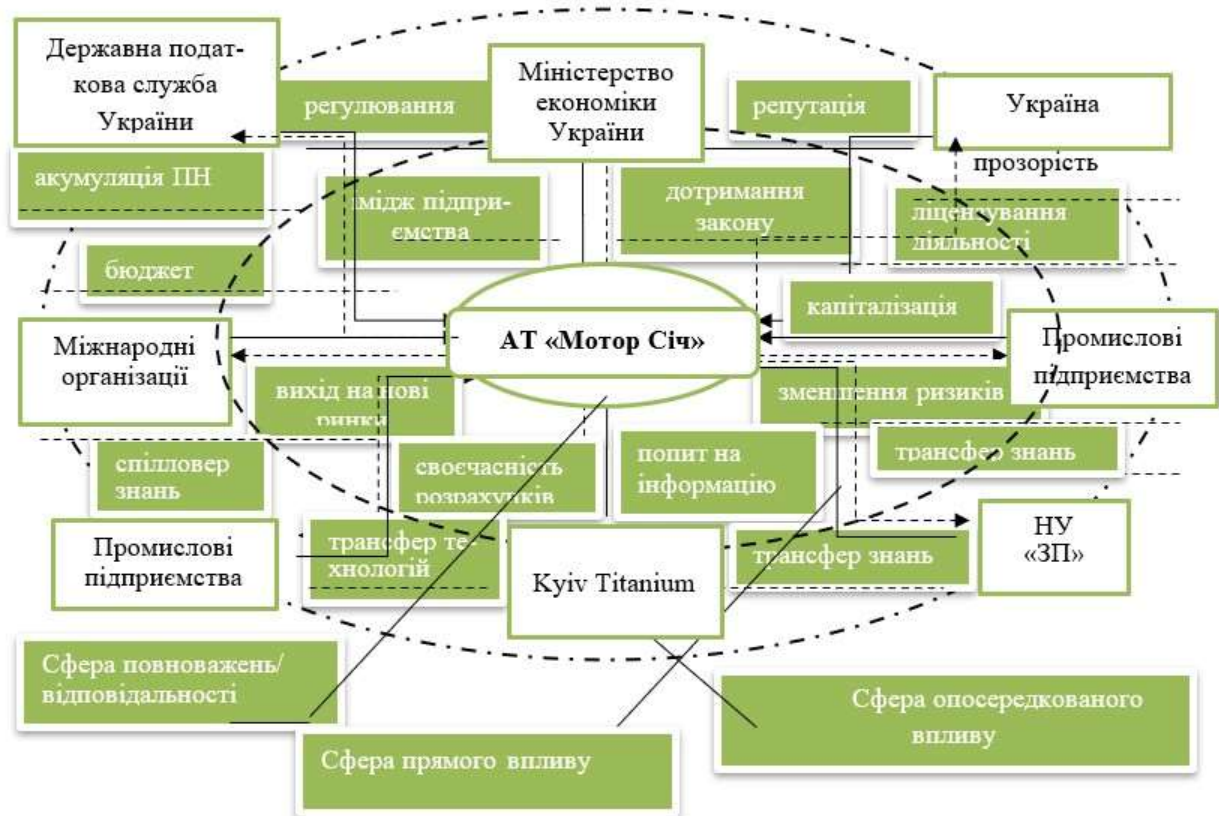


Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

5.3 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології термічної обробки для зубчастих коліс сталі 13X3HBM2Ф. Техніко-економічні дані, наведені в таблиці 5.6, надають вичерпну інформацію про показники виробів, включаючи параметри якості, вартість виробництва, термін служби та інші ключові характеристики. Ці дані служать основою для обґрунтування ефективності впровадження технології термічної обробки, яка може позитивно позначитися на якості та тривалості служби зубчастих коліс, а також економічних показниках виробництва.

Враховуючи техніко-економічні дані в таблиці 5.6, можна визначити позитивний вплив використання технології термічної обробки на деякі

ключові показники продукції. Наприклад, підвищення міцності та стійкості до зношування зубчастих коліс може призвести до збільшення їх терміну служби, що в свою чергу може зменшити витрати на ремонт та заміну.

Застосування технології термічної обробки може також вплинути на економічні параметри виробництва, такі як витрати на сировину, енергію та витрати на виробництво. Детальне вивчення та аналіз цих даних дозволяє зробити висновок про доцільність та ефективність впровадження даної технології для покращення якості та конкурентоспроможності продукції зубчастих коліс сталі 13X3HBM2Ф.

Таблиця 5.6 – Техніко-економічні показники виробів

Показник	Базова технологія	Нова технологія
1. Зубчасте колесо	Сталь 13X3HBM2Ф	Сталь 13X3HBM2Ф
2. Технологія зміцнення	Цементация, високотемпературний відпуск, гарт., обробка холодом, низькотемпературний відпуск	Цементация (безпосереднє гартування), відпуск
3. Програма випуску, т	40	40

Вартість сировини і 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.

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна	Вартість, грн
Базова технологія			
1. Синтин	20 л/т	10800 грн/т	216
2. Мінеральна олія (веретенна)	20 кг/т	13000 грн/т	260
3. Екзогаз	120 м ³ /т	4 грн/м ³	480
4. Ендогаз	30 м ³ /т	9 грн/м ³	270
Разом			1226
Нова технологія			
1. Синтин	8 л/т	10800 грн/т	86,4
2. Мінеральна олія (веретенна)	20 кг/т	13000 грн/т	260
Разом			346

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, п-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Базова технологія				
Цементация	40	4	45	1800
Високотемпературний відпуск	30	3	39	1170
Гартування	5	4	45	225
Обробка холодом	10	3	39	390
Низькотемпературний відпуск	13	3	39	507
Разом				4092
Нова технологія				
Цементация (безпосереднє гартування)	15	4	45	675
Відпуск	50	3	39	1950
Разом				2625

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи.

Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} = 4092 \times \frac{40}{100} = 1634 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} = 2625 \times \frac{40}{100} = 1050 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де K_D – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Премії з прибутку становлять 50% від основної заробітної платні .

Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$BC = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{вс}}{100} = (4092 + 1634 + 2046) \times \frac{22}{100} = 1710 \text{ грн} \text{ — для}$$

базової технології

$$BC = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{вс}}{100} = (2625 + 1050 + 1313) \times \frac{22}{100} = 1097 \text{ грн} \text{ — для}$$

нової технології

де ПП – премії з прибутку, грн;

$K_{вс}$ – % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 4092 \times \frac{400}{100} = 16368 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 2625 \times \frac{400}{100} = 10500 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де α – % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 400% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100} = 4092 \times \frac{400}{100} = 16368 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$AB = ZO \cdot \frac{\beta}{100} = 2625 \times \frac{400}{100} = 10500 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де β – % адміністративних витрат.

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$BZ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 41398 \times \frac{2}{100} = 828 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$BZ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 26118 \times \frac{2}{100} = 522 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість виробнича, грн;

γ – % витрат на збут.

Калькуляція собівартості та визначення ціни термічної обробки, представлені в таблиці 5.9, становлять ключовий етап у формуванні економічної стратегії виробництва. Аналіз цих показників дозволяє зрозуміти витрати на різні етапи технологічного процесу, від сировини до готового продукту, і враховувати фактори, такі як енергетичні витрати, трудові затрати, амортизація обладнання та інші витрати, що впливають на собівартість.

Зазначена таблиця також є важливим інструментом для визначення оптимальної цінової політики на внутрішньому та зовнішньому ринках. Додатковий аналіз ціноутворення допомагає враховувати конкурентоспроможність продукції на ринку, реагуючи на зміни витрат та попиту на термічну обробку, і визначає стратегію позиціонування виробника на ринку послуг термічної обробки.

Таблиця 5.9 – Калькуляція собівартості і ціни термічної обробки

Статті витрат	Сума, грн (для базової технології)	Сума, грн (для нової технології)
1	2	3
1. Матеріали на термічну обробку	1226	346
2. Основна заробітна плата основних виробничих робітників	4092	2625
3. Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1634	1050
4. Відрахування на соціальні заходи	1710	1097
5. Загальновиробничі витрати	16368	10500
6. Адміністративні витрати	16368	10500
7. Собівартість виробнича	41398	26118
8. Витрати на збут	828	522

Економічний ефект від впровадження нової технології термообробки розраховується за формулою:

$$E = C_n \times K - C_6 = (26118 \times 1,7) - 41398 = 44400 - 41398 = 3002 \text{ грн}$$

де C_6 – собівартість базової технології;

C_n – собівартість нової технології;

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу = 1,7.

Таким чином, можна зробити такі висновки:

1) за рахунок використання нової технології термічної обробки вдалося збільшити експлуатаційний ресурс зубчастих колес у 1,7 рази в порівнянні із базовою технологією. Це пояснюється тим, що коефіцієнт експлуатаційного ресурсу залежить від теплостійкості, яка в свою чергу залежить від обраних температур відпуску. Для базового варіанту термічної обробки було обрано температури відпуску 350 ± 10 °C, а для нового варіанта термічної обробки температури відпуску склали 530 ± 10 °C;

2) використання нової технології термічної обробки дало змогу значно зменшити тривалість та кількість операцій термічної обробки у порівнянні із базовим варіантом;

3) зменшення тривалості термічної обробки за новою технологією призведе до зниження собівартості зубчастих коліс та підвищення їх механічних властивостей.

ВИСНОВКИ

Для зубчастих коліс, що працюють за температур понад 230°C необхідне застосування високолегованих сталей.

Традиційні режими хіміко-термічної обробки не дають змоги повною мірою використовувати закладені легуванням властивості в сталях 13ХЗНВМ2Ф, 17ХНВ4МФ, 16ХЗНВФМБ. Обробка їх на вторинну твердість дає змогу вирішити цю задачу. Досліджено властивості сталі 13ХЗНВМ2Ф після обробки за двома режимами:

- загальноприйнятий - цементация 930°C, високий відпуск 650°C, гартування 920°C, обробка холодом - 60°C, відпуск 350°C.

- на вторинну твердість) - цементация 1030°C, безпосереднє гартування в масло, відпуск 530°C чотирикратний по одній годині.

Обидва режими забезпечують задовільні властивості, проте слід зазначити, що термостабільність, теплостійкість і зносостійкість цементованого шару після обробки, але твердість після другого варіанту термічної обробки вище.

Хімічко-термічна обробка за другим режимом дозволяє приблизно в два рази скоротити весь цикл обробки в порівнянні із першим режимом.

Розраховано економічні показники застосування даного режиму термічної обробки. І зазначено, що в 1,7 разів підвищується економічний ефект від застосування розглянутої технології.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Шабайкович В. А. Високоточні зубчасті колеса / В. А. Шабайкович // Наукові нотатки. - 2011. - Вип. 32. - С. 483-488.
2. Зубчасті колеса і зубчасті передачі : методичні вказівки / укладачі : А. О. Бабенко, О. В. Горяїнова ; кафедра машинобудування та технічного сервісу машин. - Харків : УкрДУЗТ, 2021. - 39 с.
3. Кривуля О. М. Аналіз показників якості зубчастих коліс / О. М. Кривуля // Automation and Development of Electronic Devices, ADED-2020: збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Вип. 2. – С. 48-52.
4. Невдаха, Ю. А. Аналіз навантажувальної здатності зубчастих передач з різним профілем зубців / Ю. А. Невдаха, Г. І. Маломуж, В. М. Лушніков // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. - Кіровоград: КНТУ, 2009. - Вип. 22. - С. 11-14.
5. Davis J. R. ASM Speciality Handbook Stainless Steels (Asm Specialty Handbook) / J. R. Davis // ASM International – 1995. – 600 p.
6. Budinski K. G. Properties and Selection. Engineering Materials. Englewood Cliffs / K. G. Budinski, M. K. Budinski // New Jersey: Prentice-Hall – 1992. – 817 p.
7. George E. Totten. Steel Heat Treatment - Metallurgy And Technologies / George E. Totten // CRC Press - 2006.- 1077 p.
8. Rajan T.V. Heat treatment: principles and techniques / T.V Rajan C. P. Sharma // PHI Learning Pvt. Ltd – 2011. – 611p.
9. Дягілев М.Ю. Український журнал із машинобудування і матеріалознавства: науковий електронний журнал. К.: Юрайт, 2008, 436 с.

10. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник / Уклад. С.П. Гожій // Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с.
11. Ланець О.Н. Матеріалознавство в машинобудуванні: науковий електронний журнал. К.: Юрайт, 2010, 502 с.
12. Czerwinski F. Heat treatment: Conventional and novel Applications [Текст] / F Czerwinski // BoD – Books on Demand – 2012 – 46 p.
13. Адаскин А.М., Климов В.Н. Матеріалознавство в машинобудуванні: електронний підручник. К.: Юрайт, 2012, 358 с.
14. Greenberg J. H. Industrial Thermal Processing Equipment Handbook / J. H. Greenberg // Asm International. 1994. – 400 p.
15. Petersen D. Analysis of bearing stiffness variations, contact forces and vibrations in radially loaded double row rolling element bearings with raceway defects / Dick Petersen // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2015 – №6 – С.139-160.
16. Шнейдерман А.Ш. Превращение остаточного аустенита при отпуске: монография. М.: МИТОМ, 1971. №5. 52с.
17. Скринченко Ю.М., Оржицкая Л.К., Левитин В.В, Чевокин В.Н. Распад остаточного аустенита в комплекснолегированных штамповых сталях при отпуске: монография. М.: МИТОМ, 1972. №6. 38 с.
18. Ланда В.А, Степнов Е.М., Купалова И.К. Кинетика изотермического распада аустенита в быстрорежущей стали: монография. М.: МИТОМ, 1971. №3. 102 с.
19. Salman K. D. Effect of quenching media on mechanical properties of medium carbon steel 1030 / K. D. Salman, B. A Ahmed, I. N Frhan // Journal of University of Babylon for Engineering Sciences. – 2018. – Т. 26. – №. 2. – С. 214 – 222.
20. Martinez-Munoz P. E. Effect of tempering on the metallurgical, structural, and thermal properties of AISI/SAE 1030 steel / P. E Martinez-Munoz //Materials Today Communications. – 2022. – Т. 31. – С. 103535.

21. Kadhim Z. D. Effect of quenching media on mechanical properties for medium carbon steel / Z. D. Kadhim //International Journal of Engineering Research and Application. – 2016. – Т. 6. – №. 8. – С. 26-34.

22.Про охорону праці [Електронний ресурс] – Чинний від 1992-10-14. : станом на 20.01.2018 р.–К.:ВРУ України, 1998.– URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).

23.Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці);

24. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом: ДСТУ Б В.2.5-82:2016. – На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України)

25. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями: НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с.