

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Оксана ГАПОНОВА

« ___ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 132 Матеріалознавство

освітньо-професійної програми _____ «Прикладне матеріалознавство»

на тему: «Вплив режимів нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на структуру та механічні властивості сталі 25ХГТ»

Здобувача групи _____ МТ.м-21/2 _____ Сергієнка Вячеслава Михайловича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Вячеслав Сергієнко

Керівник _____
доцент кафедри ПМ і ТКМ, _____
к.ф.-м.н., доц. Тетяна ГОВОРУН _____

Нормоконтроль _____
доцент кафедри ПМ і ТКМ _____
к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА _____

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. П. Гапонова

«__» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Сергієнку Вячеславу Михайловичу

1. Тема проекту (роботи) Вплив режимів нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на структуру та механічні властивості сталі 25ХГТ затверджена наказом по університету від “09” листопада 2023 р. № 1254-VI

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) грудень 2023 р._____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Зразки зі сталі 25ХГТ для проведення досліджень з метою зміцнення поверхні нітроцементацією в пастах з нагрівом СВЧ_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Аналіз літературних джерел за темою роботи щодо методів зміцнення поверхні сталей.

2. Методи наукових досліджень та методика досліджень.

3. Експериментальні дослідження та загальнення результатів.

4. Економічна частина.

5. Охорона праці, довкілля і техніка безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Матеріал для захисту оформлено у вигляді презентації. Креслення відсутні._____

6. Консультанти з проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці, довкілля і техніка безпеки	Говорун Т. П.	06.11.2023 р.	08.12.2023 р.
Економічна частина	Берладір Х. В.	06.11.2023 р.	11.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел за темою роботи щодо методів зміцнення поверхні сталей	Листопад 2023	Виконано
2	Методи наукових досліджень та методика досліджень	Листопад 2023	Виконано
3	Експериментальні дослідження та узагальнення результатів	Листопад 2023	Виконано
4	Економічна частина	Грудень 2023	Виконано
5	Охорона праці, довкілля і техніка безпеки	Грудень 2023	Виконано

7. Дата видачі завдання 06.11.2023 р.

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Сергієнко Вячеслав Михайлович. Вплив режимів нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на структуру та механічні властивості сталі 25ХГТ. – Рукопис.

Робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2023.

В роботі було проведено дослідження умов протікання процесів формування покриттів при нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на фазовий і хімічний склад, структуру і властивості сталі 25ХГТ та порівняння даного процесу з традиційною газовою нітроцементацією.

Нітроцементація в пастах з нагрівом струмами високої частоти є одним із прогресивних і економічних методів хіміко-термічної обробки. Даний процес дозволяє: істотно зменшити деформації під час нагріву і охолодження, що досягається за рахунок жорсткості холодної серцевини; усунути окислення і знеуглецювання; зменшити витрати енергії на нагрів: шар, що нагрівається, складає невелику частину від маси деталі; використовувати більш дешеві марки сталі; забезпечити властивості осердя незалежно від властивостей твердого шару.

Нітроцементація в пастах з нагрівом струмами високої частоти: підвищує мікротвердість та поліпшує механічні властивості сталі 25ХГТ особливо контактну міцність та також зносостійкість, порівняно з газовою нітроцементацією, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом; скорочує процес проведення ХТО, економить електроенергію, час та кошти.

Ключові слова: сталь, нітроцементація, газова нітроцементація, нітроцементація в пастах, струми високої частоти.

ABSTRACT

Serhiienko V.M. The effect of nitrocementation modes in pastes heated by high-frequency currents on the structure and mechanical properties of 25XГТ steel. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – materials science. – Sumy State University, Sumy, 2023.

In the paper, a study of the conditions of the process of formation of coatings during nitrocementation in pastes heated by high-frequency currents was carried out on the phase and chemical composition, structure and properties of steel 25XГТ and a comparison of this process with traditional gas nitrocementation.

Nitrocementation in pastes heated by high-frequency currents is one of the progressive and economical methods of chemical and thermal treatment. This process allows to significant reduction deformations during heating and cooling, which is achieved due to the rigidity of the cold core; eliminate oxidation and decarbonization; reduce energy consumption for heating: the heated layer is a small part of the mass of the part; use cheaper grades of steel; ensure the properties of the core regardless of the properties of the solid layer.

Nitrocementation in pastes heated by high-frequency currents: increases microhardness and improves the mechanical properties of 25XГТ steel, especially contact strength and wear resistance, compared to gas nitrocementation, as it provides a structure with finely dispersed martensite; it shortens the process of carrying out CTT, saves electricity, time and money.

Keywords: steel, nitrocementation, gas nitrocementation, nitrocementation in pastes, high frequency currents.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить в собі 97 сторінок, у тому числі 32 рисунки, 5 таблиць, бібліографії із 53 джерел на 6 сторінках.

Мета роботи - дослідження умов протікання процесів формування покриттів при нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на фазовий і хімічний склад, структуру і властивості сталі 25ХГТ та порівняння даного процесу з традиційною газовою нітроцементацією.

Об'єкт дослідження – нітроцементаційні шари, отримані в пастах з нагрівом токами високої частоти на сталі 25ХГТ.

Предмет дослідження - склад, структура, механічні властивості та характеристики дифузних покриттів на основі азоту спільно з вуглецем після нітроцементації на сталі 25ХГТ.

Експериментальні **методи дослідження** включають: отримання зразків для дослідження; приготування мікрошліфів; виявлення структури; методи мікроскопічного дослідження - макроструктури (макроаналіз) і мікроструктури (мікроаналіз) на мікроскопі МІМ-7; вивчення та оцінка мікроструктури сталі 25ХГТ; визначення мікротвердості – прилад ПМТ-3; випробування на зносостійкість під час тертя, інші дослідження проводили за стандартними методиками.

Наукова новизна. Нітроцементація в пастах з нагрівом токами високої частоти: підвищує мікротвердість та поліпшує механічні властивості сталі 25ХГТ особливо контактну міцність та також зносостійкість, порівняно з газовою нітроцементацією, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом; скорочує процес проведення ХТО, економить електроенергію, час та кошти.

Ключові слова: сталь, нітроцементація, газова нітроцементація, нітроцементація в пастах, струми високої частоти.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1.....	15
АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ЩОДО МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ СТАЛЕЙ.....	15
1.1 Різновиди поверхневого зміцнення із застосуванням ХТО.....	15
1.2 Актуальність методів поверхневого зміцнення із застосуванням нітроцементациї.....	18
1.3 Аналіз стану публікацій із застосуванням нітроцементациї для зміцнення виробів.....	23
Висновки.....	29
РОЗДІЛ 2.....	30
МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1 Характеристика і властивості сталі 25ХГТ.....	30
2.2 Опис впливу легуючих елементів на властивості матеріалу.....	31
2.3 Методи та методика проведення випробувань і досліджень.....	33
Висновки.....	38
РОЗДІЛ 3.....	39
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	39
3.1 Переваги процесу нітроцементациї та нітроцементациї в пастах.....	39
3.2 Переваги нагрівання струмами високої частоти при проведенні процесу нітроцементациї в пастах.....	40
3.3 Проведення експериментів і представлення отриманих результатів.....	42
3.3.1 Традиційна попередня термообробка сталі 25ХГТ.....	42
3.3.3 Нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти.....	46

3.3.4 Механічні властивості сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах з нагріванням струмами високої частоти	58
3.4 Практичне значення одержаних результатів	60
Висновки	64
РОЗДІЛ 4.....	65
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	65
4.1 Економічна ефективність науково-дослідних робіт	65
4.2 Розрахунок витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	66
4.3 Оцінка ефективності науково-дослідної роботи	67
4.3.1 Оцінка наукового ефекту НДР.....	68
4.3.2 Оцінка технічного ефекту НДР	69
4.3.3 Оцінка економічного ефекту НДР.....	70
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідних робіт.....	70
Висновки	73
РОЗДІЛ 5.....	74
ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	74
5.1 Мікроклімат робочих приміщень	74
5.2 Вентиляція робочих приміщень.....	75
5.3 Захист від шуму і вібрації	77
5.4 Освітлення цеху	78
5.5 Електробезпека на виробництві.....	79
5.6 Пожежна безпека	82
5.7 Засоби індивідуального захисту.....	85
5.8 Термообробка з нагріванням струмами високої частоти	85
5.9 Техніка безпеки під час роботи з контрольованими атмосферами	86
5.10 Охорона навколишнього середовища.....	87
ВИСНОВКИ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ТО – термічна обробка

ХТО – хіміко-термічна обробка

ТЦО – термоциклічна обробка

ТМО – термомеханічна обробка

СВЧ – струми високої частоти

НДР – науково-дослідні роботи

НВ – накладні витрати

ВУЗ – вищий навчальний заклад

ГДК – гранично допустима концентрація

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

ВСТУП

Підвищення якості та довговічності промислової продукції є однією з найактуальніших проблем нині. Підвищення якості металу та його механічних властивостей – основний шлях збільшення довговічності деталей та одне з головних джерел економії сталей та сплавів.

Для вирішення цієї проблеми технолог (інженер-металург, інженер-механік, інженер-технолог) повинен володіти основами підвищення якості та довговічності виробів за рахунок раціонального вибору матеріалів та методів їхнього зміцнення шляхом термічної (ТО), хіміко-термічної (ХТО), термоциклічної (ТЦО), термомеханічної (ТМО) обробки при досягненні високої техніко-економічної ефективності [1, 2].

Теорія термічної обробки є частиною металознавства. При нагріванні та охолодженні змінюється структура металевого матеріалу, що обумовлює зміну механічних, фізичних та хімічних властивостей та впливає на її поведінку при обробці та експлуатації. Термічною обробкою називають процес обробки виробів з металів та сплавів шляхом теплового впливу з метою зміни їх структури та властивостей у заданому напрямку. Ця дія може поєднуватися також з хімічним, деформаційним, магнітним та іншими впливами [1, 2].

Хіміко-термічну обробку застосовують як остаточну операцію для надання металу або сплаву такого комплексу механічних, фізичних та хімічних властивостей, що забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики виробу. Широке застосування ХТО в машинобудуванні обумовлено можливістю ефективного підвищення якості надійності машин і механізмів, що входять до них, збільшення терміну служби та підвищення технологічних характеристик, що призведе до поліпшення якості робіт на таких машинах [3].

Результати досліджень у галузі хіміко-термічної обробки відображені в багатьох роботах сучасних вчених (В.Ф. Лоскутов, О.В. Білоцький, Б.М. Арзамасов, В.І. Похмурський, Ф. І. Пантелєєнко, Г.В. Земсков, О.В. І. Яськов, І. Н. Погрелюк, В. Н. Федірко) [3].

У багатьох випадках покриття на сталях та твердих сплавах, одержані при однокомпонентному насиченні під час ХТО, не можуть задовольнити вимоги сучасної практики. Тому на сьогодні проводять роботи з насичення кількома елементами та за різною методикою: послідовно або одночасно.

Таким чином, безперечний інтерес має визначення взаємозв'язків між фазовим, хімічним складом покриття, його структурою, мікротвердістю, тріщиностійкістю, адгезією покриття з матеріалом основи та зносостійкістю. Отримані результати дозволять коректно підійти до вибору раціонального типу покриття та технології його нанесення. У даній магістерській роботі крім стандартних методів термообробки досліджується один із прогресивних методів ХТО – нітроцементация в пастах із застосування нагрівання струмами високої частоти (СВЧ). **Це обумовило актуальність тематики проведених досліджень.**

Об'єкт дослідження – нітроцементацийні шари, отримані в пастах з нагрівом струмами високої частоти на сталі 25ХГТ.

Предмет дослідження - склад, структура, механічні властивості та характеристики дифузних покриттів на основі азоту спільно з вуглецем після нітроцементации на сталі 25ХГТ.

Мета роботи - дослідження умов протікання процесів формування покриттів при нітроцементации в пастах з нагрівом струмами високої частоти на фазовий і хімічний склад, структуру і властивості сталі 25ХГТ та порівняння даного процесу з традиційною газовою нітроцементацией.

За період виконання магістерської кваліфікаційної роботи необхідно виконати наступні задачі:

1. Проаналізувати літературні джерела щодо процесів нітроцементации, як сучасного методу зміцнення поверхні матеріалів.
2. Розробити технологію нітроцементации в пастах з нагрівом струмами високої частоти для сталі 25ХГТ.
3. Провести дослідження впливу нітроцементации в пастах з нагрівом струмами високої частоти на структуру та властивості сталі 25ХГТ.

4. Визначити фазовий склад та мікроструктуру поверхні сталі 25ХГТ після нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти.

5. Дослідити мікротвердість сталі 25ХГТ після нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти.

6. Дослідити механічні властивості дифузійних шарів і поверхні сталі 25ХГТ після нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти.

7. Зробити порівняльний аналіз пропонованого процесу нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти із газовою нітроцементацією для сталі 25ХГТ та оформити рекомендації щодо застосування нітроцементації в пастах з нагрівом токами високої частоти.

Для виконання поставлених задач треба провести теоретичні та експериментальні дослідження у кілька етапів:

1 етап – підготовка зразків зі сталі 25ХГТ.

2 етап – попередня термічна обробка зразків зі сталі 25ХГТ.

3 етап – підготовка зразків зразків зі сталі 25ХГТ для нітроцементації.

4 етап – проведення хіміко-термічної обробки зразків зі сталі 25ХГТ – газової нітроцементації з використанням триетаноламіну.

5 етап – проведення комбінованої обробки зразків зі сталі 25ХГТ – нітроцементації із нагріванням струмами високої частоти.

6 етап - подальша термічна обробка зразків зі сталі 25ХГТ.

7 етап – проведення досліджень зразків зі сталі 25ХГТ.

8 етап – обробка результатів дослідження і оформлення магістерської кваліфікаційної роботи.

Методи дослідження.

1. Основні теоретичні результати роботи були отримані з використанням сучасних методів досліджень, таких як теоретичний аналіз стану проблеми, використовуючи наявні дані літературних джерел, а також наукове обґрунтування шляхів вирішення задачі, теоретичні та чисельні дослідження впливу нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на структуру та властивості сталі 25ХГТ.

2. Експериментальні методи дослідження включають: отримання зразків для дослідження; приготування мікрошліфів; виявлення структури; методи мікроскопічного дослідження - макроструктури (макроаналіз) і мікроструктури (мікроаналіз) на мікроскопі МІМ-7; вивчення та оцінка мікроструктури сталі 25ХГТ; визначення мікротвердості – прилад ПМТ-3; випробування на зносостійкість під час тертя, інші дослідження проводили за стандартними методиками.

В даній роботі порівнюємо два процеси термічної та хіміко-термічної обробки – газова нітроцементация та нітроцементация в пастах з нагрівом струмами високої частоти.

Нітроцементация в пастах з нагрівом струмами високої частоти є одним із прогресивних і економічних методів хіміко-термічної обробки. Даний процес дозволяє: істотно зменшити деформації під час нагріву і охолодження, що досягається за рахунок жорсткості холодної серцевини; усунути окислення і знеуглецювання; зменшити витрати енергії на нагрів: шар, що нагрівається, складає невелику частину від маси деталі; використовувати більш дешеві марки сталі; забезпечити властивості осердя незалежно від властивостей твердого шару.

Наукова новизна. Нітроцементация в пастах з нагрівом струмами високої частоти:

- підвищує мікротвердість та поліпшує механічні властивості сталі 25ХГТ особливо контактну міцність та також зносостійкість, порівняно з газовою нітроцементацией, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом,

- скорочує процес проведення ХТО, економить електроенергію, час та кошти.

Практична цінність одержуваних результатів: вивчено та розроблено методику отримання нітроцементацийного шару за допомогою паст та нагріву СВЧ, виконано експериментальні дослідження сталі 25ХГТ після нітроцементация в пастах з нагрівом струмами високої частоти, проведено порівняльний аналіз

традиційної нітроцементациї в газовому середовищі триетаноламіну та нітроцементациї з СВЧ.

Особистий внесок здобувача полягає в аргументуванні та постановці задач досліджень, вирішенні загальних завдань експерименту, розгляду і розтлумаченні досліджуваних результатів, опрацюванні інформації і її оформленні.

Публікації. Тези конференції.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 97 сторінок, у тому числі 32 рисунки, 5 таблиць, бібліографії із 53 джерел на 6 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ЩОДО МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ СТАЛЕЙ

1.1 Різновиди поверхневого зміцнення із застосуванням ХТО

Підвищення надійності і довговічності деталей і конструкцій машин, поліпшення якості і ефективності їх роботи, економія металів, боротьба з корозією і зношуванням є пріоритетними завданнями науки і техніки. Вирішення цих проблем пов'язане насамперед з необхідністю розробки та впровадження високоефективних методів підвищення структурної міцності металевих матеріалів. У зв'язку з цим суттєву роль у вирішенні цієї проблеми відіграють методи поверхневого зміцнення деталей [1], серед яких найбільш перспективними та поширеними є методи хіміко-термічної обробки [2]. Тому актуальною є розробка нових та вдосконалення існуючих видів і технологічних процесів хіміко-термічної обробки [4], які змінюють структуру та фазовий склад поверхневого шару деталі. Це дозволить отримати оптимальні властивості та характеристики продукту [5].

Хіміко-термічна обробка полягає у зміні хімічного складу і структури поверхневих шарів деталей шляхом їх дифузійного насичення при підвищених температурах одним або кількома елементами [2]. Залежно від насичувального елемента розрізняють такі типи насичення поверхні: однокомпонентні: цементация – насичення вуглецем [6]; азотування – насичення азотом [7]; багатокомпонентні: нітроцементування – насичення азотом і вуглецем [8]; карбонітрування – насичення вуглецем і азотом.

Автори [9] досліджували зміну мікроструктури та властивостей сталі АС-САБ 760 у процесі цементації та гартування. Доведено ефективність формування мікроструктур мартенситу та аустеніту.

Вплив термічної обробки на мікроструктуру та зносостійкість модифікованої сталі Гадфілда досліджено в [10]. Показано, що підвищення температури термічної обробки та зменшення швидкості нагрівання позитивно

впливають на розчинення вторинних карбідів і мартенситу перетворення, що значно покращує твердість, зносостійкість і коефіцієнт тертя Cr + Ni модифікованої сталі Гадфілда.

Сучасні методи ХТО, такі як карбонітрація, нітроцементация, цементация та інші широко використовуються в різних промислових галузях і є досить перспективними процесами [11]. Активному впровадженню даних процесів у машинобудуванні та машиноремонтному виробництві сприяє гарне поєднання експлуатаційних властивостей поверхневого шару: досить висока твердість та зносостійкість при роботі у різних умовах навколишнього середовища; підвищена корозійна стійкість; отримання в поверхневому шарі великої напруги стиснення, що підсилюють втомний опір; низька сприйнятливність до поверхневих дефектів; хороша шліфованість і полірованість; мала схильність до задирання. Як основні недоліки зазначених процесів можна відзначити значну тривалість технологічного процесу, високу вартість обладнання та матеріалів та низьку екологічність вищезгаданих технологій ХТО. Вирішення екологічних проблем дифузійного зміцнення та покращення [12] експлуатаційних властивостей поверхневого шару взаємопов'язані із застосуванням спеціальних порошкових сумішей – обмазок, паст, які називають насичувальним середовищем (карбюризатором).

Головні вимоги до насичувальної середовища (карбюризатору) такі [13]:

1. Карбюризатор повинен забезпечувати необхідне підвищення міцності деталей і вузлів з різних конструкційних сталей у цьому інтервалі температур повітря без застосування додаткового устаткування.

2. Карбюризатор повинен працювати в умовах масового та дрібносерійного виробництва, а також створювати зручності для зміцнення деталей різних форм та розмірів із застосуванням найпростішого термічного обладнання.

3. Склад насичувального середовища не повинен включати дефіцитні та дорогі матеріали та компоненти; карбюризатор повинен бути нетоксичним, зручним у користуванні, задовольняти правилам техніки безпеки на виробництві, а також бути енергозберігаючим.

У сучасному виробництві для низки вузлів і деталей машин використовуються низьковуглецеві конструкційні сталі типу (20 - 30)ХГТ, що працюють при підвищених навантаженнях. Але втомна міцність і зносостійкість зазначених сталей після стандартної термічної обробки (загартування 850 °С подальшою відпусткою до необхідної твердості) недостатні. Усунення зазначеного недоліку, тобто підвищення експлуатаційних властивостей сталі (20 - 30)ХГТ, можливе із застосуванням ХТО у пастоподібному карбюризаторі, до складу якого входять вуглецево-азотисті компоненти. Насичувальне середовище у вигляді пасти (обмазки) наноситься безпосередньо на поверхні, що зміцнюються. Це активізує реакцію адсорбування та дифузії активних атомів вуглецю та азоту на поверхню сталі та вглиб матеріалу деталі. Такий механізм забезпечує мінімальну витрату компонентів карбюризатора при високій здатності до насичення [13].

У статті [14] досліджено вплив азотованого шару, створеного за допомогою процесів газового азотування, на властивості механічної та корозійної стійкості сталі JIS SACM 645. Зразки сталі JIS SACM 645 з різною твердістю підкладки були азотовані газом при 530 °С протягом різної тривалості азотування. Азотовані зразки були охарактеризовані за допомогою оптичної та скануючої електронної мікроскопії, дифракції рентгенівських променів, оптичної спектрометрії тліючого розряду, профілювання мікротвердості, випробування на знос, випробування на втому при крученні, а також випробування на електрохімічну корозію в аерованому 3,5% розчині NaCl. Значення поверхневої твердості азотованих зразків із фазами Fe₃N і Fe₄N, виділеними в шарі корпусу, спостерігалися вище 1000 HV_{0,1}. Вимірювання втрати маси під час випробування на знос показало підвищення зносостійкості азотованих зразків, і на втрати маси зразків сильно впливала тривалість азотування. Електрохімічні вимірювання показали, що щільність струму корозії зразків значно зменшилася після азотування, а потенціал корозії зміщувався в благородний бік із збільшенням тривалості азотування. Межа втоми зразка, азотованого протягом 96 годин, зросла на 44 % до 600 МПа, перевищуючи необроблений зразок у цьому дослідженні.

1.2 Актуальність методів поверхневого зміцнення із застосуванням нітроцементациї

Оптимізувати характеристики втомної міцності сталі можна шляхом підбору режиму хіміко-термічної обробки. Хіміко-термічна обробка підвищує зносостійкість деталей машин, головним чином за рахунок підвищення твердості поверхневого шару [15]. Бо поверхнева обробка призводить до утворення шарів і зон дифузії з покращеними властивостями та меншими механізмами руйнування, ніж у необробленої сталі, у тому числі підвищеними характеристиками втоми [16].

Крім того, повний потенціал можливостей нанесених покриттів і матеріалів, отриманих з їх застосуванням ще не використовується повністю. Це пояснюється особливостями використання різноманітних видів та варіантів покриттів у поєднанні з різними матеріалами виробів, які ще досконально не вивчені. Крім того, не проаналізовано переваги використання комплексних технологій для виготовлення виробів з покриттям. Якісно нові властивості виробів з покриттям забезпечуються на всіх етапах технологічного процесу, а саме: нанесення покриття, обробка виробу та підготовка його до експлуатації. Це дає підстави проводити подальші дослідження в даному напрямку з метою вдосконалення технологій нанесення покриттів і фундаментального створення нових варіантів для підвищення якості продукції різного призначення.

Високоєфективний спосіб насичення поверхневих шарів сталі одночасно вуглецем і азотом - це застосування нітроцементациї. Змінюючи температуру, тривалість процесу та склад середовища для нітроцементациї, можна отримати різні концентрації азоту та вуглецю в поверхневому шарі та різну глибину дифузійного шару [3].

Нітроцементация - це насичення поверхні деталі одночасно вуглецем та азотом. Завдяки присутності азоту нітроцементована сталь має більш високі механічні властивості, ніж цементована сталь. Тому товщина шару при нітроцементациї повинна бути меншою, ніж при цементациї, і значно підвищується межа міцності при згинанні та розтягуванні. При невеликих товщинах шару межа витривалості цементованої та нітроцементованої сталей однакова, але при великій

товщині шару межа витривалості нітроцементованої сталі вище. Після нітроцементациї з безпосереднім гартуванням сталь має дрібніше зерно, ніж після цементациї, що зменшує схильність до крихкого руйнування і підвищує також межу витривалості. Ударна в'язкість сталі після цементациї та нітроцементациї приблизно однакова. Нітроцементований шар має гарну зносостійкість і корозійностійкість. Але корозійна стійкість нержавіючої сталі (14X17H2, 12X13) після нітроцементациї знижується. Порівняно з цементациєю при нітроцементациї значно підвищується прожарюваність і гартування дифузійного шару за рахунок легування аустеніту азотом. Застосування ступінчастого гарту зменшує короблення і дозволяє зменшити припуск на шліфування [17].

Підвищена міцність пов'язана із впливом азоту на властивості сталі. Вплив азоту тим ефективніший, ніж нижча температура нітроцементациї. Після повільного охолодження мікроструктура нітроцементованого шару відрізняється від мікроструктури цементованого шару наявністю окремих включень карбонітридів або тонкої поверхневої карбонітридної скоринки. Оптимальною структурою після гарту та низької відпустки є структура дрібно або середньогольчастого мартенситу з тією чи іншою (20 – 40 %) кількістю залишкового аустеніту (рис. 1.1) [3].

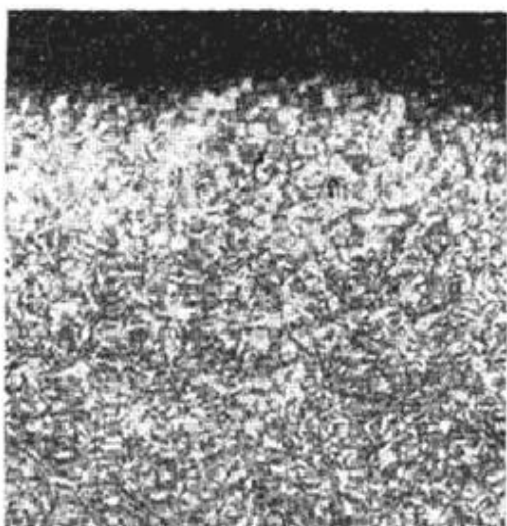


Рисунок 1.1 - Мікроструктура нітроцементованого шару металу після гартування та низького відпуску; $\times 400$ [3]

Підвищений вміст залишкового аустеніту призводить до зниження контактної та втомної міцності. На кількість залишкового аустеніту впливають температура нітроцементациї, хімічний склад сталі та сумарний вміст азоту та

вуглецю. Азот, присутній у шарі, значно підвищує кількість залишкового аустеніту в легованих сталях. Так, у сталях із вмістом нікелю 3,25-3,75 % (12X2H4A, 20X2H4A) у загартованому шарі зберігається до 60-70% залишкового аустеніту. Тому граничний вміст нікелю в сталях має бути не більше ніж 1,2%. Сумарний вміст вуглецю та азоту має бути у необхідних межах. Зниження вмісту вуглецю призводить до утворення структури мартенситу низьковуглецевого з трооститом. При збільшенні вмісту вуглецю зростає кількість залишкового аустеніту та з'являється карбонітридна фаза, що знижує стійкість аустеніту у зв'язку з переходом азоту та вуглецю в карбонітриди. При цьому на поверхні з'являється трооститна сітка (рис. 1.2) [3].

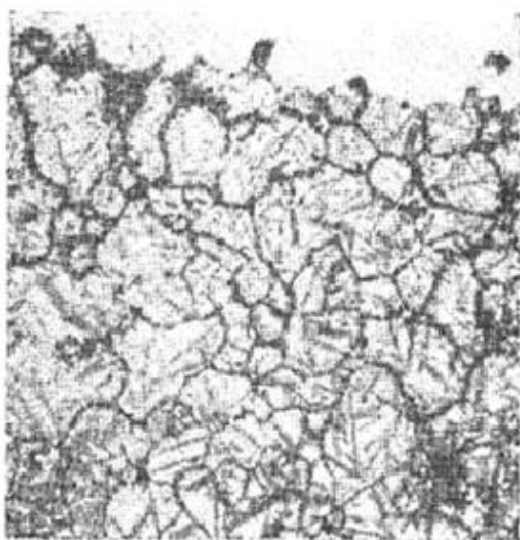


Рисунок 1.2 - Мікроструктура нітроцементованого шару з троститною сіткою; x500 [3]

Присутність карбонітридів у шарі знижує також опір ударним навантаженням в результаті окрихчування шару. При вмісті азоту в шарі менше 0,1 % внаслідок внутрішнього окислення відбувається збіднення твердого розчину легуючими елементами та з'являються продукти немартенситного перетворення аустеніту (троститна сітка). З підвищенням вмісту азоту в поверхневому шарі з'являється дефект у вигляді темних плям, добре видно тільки на нетравлених шліфах, званий темною складовою. Темна складова є пори, що виникають при великому тиску молекулярного азоту в шарі і заповнені оксидами, що утворилися в результаті розвитку внутрішнього окислення в ендотермічних атмосферах. Цей дефект є незворотним і не усувається повторною фазовою перекристалізацією. Наявність темної складової знижує межу витривалості на 45-75 %. Цей дефект

спостерігається тільки при вмісті азоту у шарі понад 0,5%, тому вміст азоту 0,45% вважається граничним [3].

При нітроцементації деталей триетаноламін можуть виникати різні дефекти (поверхневі, розмірні, структурні). Для їх усунення необхідно знати причини виникнення дефектів, методи їх попередження та виправлення. Поверхневі дефекти мають різний характер: роз'їдання, шорсткі та круглі плями, нагари, окалина. У більшості випадків ці дефекти пояснюються недостатньою чистотою поверхні деталі перед нітроцементацією або недостатньо чистою нітроцементацією. Залишки окалини сприяють появі дефектів, а жир і масляні плями є причиною появи шорстких плям. Деформація деталі залежить від усіх видів термічної обробки: перед нітроцементацією, під час і після нітроцементації, а також конфігурації деталі. Іноді більша чи менша схильність до деформації залежить від марки сталі та індивідуальних властивостей сталі. Іноді причиною всіх дефектів є тривала витримка або велика подача триетаноламіну при нітроцементації, а також неконтрольована висока температура загартування. Для запобігання дефектам необхідна акуратність у роботі, проведення виробничого процесу під точним контролем температур при обробці [18].

Внаслідок структурних дефектів стали виникають різні недоліки [17]: знижена твердість; нерівномірна глибина шару; крихкість шару; різкий перехід від нітроцементованого шару до серцевини; знижена глибина шару; схильність до виникнення шліфувальних тріщин

Дефектом нітроцементованого шару є зневуглецювання, яке знижує межу витривалості на 20-25 %. Зневуглецювання може відбуватися при зниженні вуглецевого потенціалу наприкінці процесу, при порушенні співвідношення вуглецевмісних та азотуючих компонентів газової атмосфери, при передачі деталей з печі повітрям у гартований бак. На механічні властивості нітроцементованого шару впливає процес деазотування. Азот, що знаходиться в сталі у твердому розчині або у вигляді нітридів, при нагріванні має здатність випаровуватися. При нітроцементації у період процесу відбувається одночасне насичення вуглецем і азотом. У другому періоді насичення азотом припиняється, і

навіть за постійного складу газового середовища концентрація азоту лежить на поверхні дифузійного шару знижується. Деазотування збільшується з підвищенням температури та тривалості витримки. При охолодженні на повітрі та повторних нагріваннях під загартування деазотування досягає 90 %. Тому високі механічні властивості сталі можуть бути отримані тільки при безпосередньому загартуванні після нітроцементації [18].

Актуальним завданням є найбільш ефективно використання дешевих недефіцитних матеріалів шляхом суттєвого покращення їх структури та фізичних властивостей. Технологічні методи зміцнення поверхневих шарів деталей, що забезпечують зміну їх механічних та фізико-хімічних властивостей, відіграють важливу роль у підвищенні їхньої зносостійкості та довговічності. З допомогою цих методів можна вирішити дві важливі завдання проблеми підвищення зносостійкості [3].

Перше завдання, основний зміст якої полягає в усуненні можливостей пошкоджуваності, полягає в розширенні діапазону швидкостей та нормальних тисків протікання нормального (окислювального) зношування. Рішення її ґрунтується на першому положенні теорії зносу та його основних наслідках [3].

Другим важливим завданням боротьби зі зносом, що з другого положення теорії зносу і вирішуваної з допомогою технологічних методів зміцнення поверхні, є зниження інтенсивності окислювального зношування [3].

Для зміни об'ємних властивостей матеріалу деталей застосовують різні види об'ємної термічної обробки (відпал, нормалізація, гартування, відпуск), а для зміни властивостей поверхневих шарів – поверхнєве загартування. Поверхнєве загартування полягає в нагріванні тонкого поверхневого шару до температури утворення в ньому аустеніту і подальшому швидкому охолодженні для фіксації дрібногочастого мартенситу. Нагрів при поверхнєвому загартуванні здійснюється струмами високої частоти. Хіміко-термічна обробка забезпечує підвищення зносостійкості деталей машин, головним чином за рахунок збільшення твердості поверхневого шару. Виникнення в поверхнєвому шарі великої залишкової напруги стиснення сприяє підвищенню втомної міцності [17].

1.3 Аналіз стану публікацій із застосуванням нітроцементації для зміцнення виробів

При виконанні випускної кваліфікаційної роботи магістра було проведено аналіз літературних даних і патентів.

В роботі [19] була досліджена нітроцементація з циклічним нагріванням, яка має ряд переваг в порівнянні з нітроцементацією з ізотермічним нагріванням. Проведення такого процесу ХТЦО призводить до зменшенні його часу, здрібнення зерна і покращення механічних властивостей. Досліджена в роботі нітроцементація з циклічним нагріванням має ряд переваг в порівнянні з нітроцементацією з ізотермічним нагріванням. Проведення такого процесу ХТЦО призводить до зменшенні його часу, здрібнення зерна і покращення механічних властивостей. Досліджена в роботі нітроцементація з циклічним нагріванням має ряд переваг в порівнянні з нітроцементацією з ізотермічним нагріванням. Проведення такого процесу ХТЦО призводить до зменшенні його часу, здрібнення зерна і покращення механічних властивостей. Досліджена в роботі нітроцементація з циклічним нагріванням має ряд переваг в порівнянні з нітроцементацією з ізотермічним нагріванням. Проведення такого процесу ХТЦО призводить до зменшенні його часу, здрібнення зерна і покращення механічних властивостей. Досліджена в роботі нітроцементація з циклічним нагріванням має ряд переваг в порівнянні з нітроцементацією з ізотермічним нагріванням. Проведення такого процесу ХТЦО призводить до зменшенні його часу, здрібнення зерна і покращення механічних властивостей.

Авторами статті [18] досліджено ефект нітроцементації в пастах на підвищення продуктивності та ресурсу таких клапанів. Основними методами дослідження є металографічні та електронно-металографічні дослідження структури поверхневого шару сталі 60Si2Cr (укр. сталь 60C2ХА). Проведено порівняння з аналогічними характеристиками, отриманими для нержавіючої сталі 09Cr15Ni8Al (укр. сталь сталі 09Х15Н8Ю). В результаті встановлено, що нітроцементація вуглецевої пружинної сталі 60Si2Cr призводить до більшої

глибини дифузійного шару, ніж нітроцементация легованої хромонікелевої сталі 09Cr15Ni8Al. При цьому дифузійні шари обох видів сталей майже однакові.

Підвищення межі втоми сталі 60Si2Cr при проведенні нітроцементации становить в 1,3 рази більше, порівняно з необробленими пластинами. Також, апробації пластин у виробничих умовах показала, що розрахунковий термін служби нітроцементованих клапанів збільшується в 5,7 рази порівняно з необробленими клапанними пластинами. Було обґрунтовано метод поверхневого зміцнення за низької температури для підвищення втомної міцності тонкої арматури пластини при застосуванні нітроцементации в пастах. Встановлено, що нітроцементация сталі 60Si2Cr при температурах 550 °C та 650 °C підвищує межу втомної міцності порівняно із вихідним значенням до 1,3 рази.

Винахід [20] відноситься до хіміко-термічної обробки металів та сплавів, зокрема до процесів швидкісної нітроцементации в пастах. Мета винаходу: створення способу, що забезпечує отримання зміцнених шарів, що володіють високою мікротвердістю та зносостійкістю. Формула винаходу: запропоновано спосіб нітроцементации сталевих виробів у пасті, що містить сажу і азотовмісний компонент, при цьому як азотовмісний компонент вона містить карбамід при наступному співвідношенні компонентів, мас.ч %.: карбамід 50-55, сажа 50-45. Нітроцементацию проводять з витримкою протягом 4 год печі при температурі 550 °C.

В [21] наведено огляд існуючих методів комбінованої зміцнюючої обробки сталевих деталей машин, розглянуто основні методи комбінованої обробки конструкційних та інструментальних сталей. У сучасних умовах, виробництво конкурентоспроможної продукції машинобудування та її ефективна реновація неможливі без використання зміцнювальних технологій, особливо таких, які дозволяють сформувати на поверхні виробів шари або покриття, що відрізняються підвищеними експлуатаційними характеристиками, насамперед підвищеною зносостійкістю. В арсеналі методів зміцнювальної обробки конструкційних та інструментальних матеріалів, розроблених до теперішнього часу, є як традиційні технології, так і принципово нові електрофізичні, електроннопроменеві, лазерні,

імпульсні та інші технології, що дозволяють отримати тонкі високоміцні та зносостійкі покриття (шари) на різних матеріалах.

Результати досліджень авторів [22] дозволили зробити висновки, на підставі яких можна рекомендувати режим нітроцементації хромистих сталей, що забезпечують найкраще поєднання механічних властивостей з урахуванням показників втоми. Для гладких зразків (осі, вали) слід використовувати сталь 30X, що має високу межу витривалості після нітроцементації ($\sigma_{-1} = 460$ МПа). Для деталей з концентратором напруги (виточки, різьбові з'єднання) переважно використовувати сталь 30X13, що має найбільший опір зростанню тріщини.

Авторами роботи [23] було досліджено зразки із сталі 30ХГТ у нормалізованому стані за різних температурних режимів для визначення підвищення втомної міцності при проведенні низькотемпературної нітроцементації. Зроблено висновки, що нітроцементація для сталі 30ХГТ у азотисто-вуглецевій пасті значно збільшує (в 1,5 -1,6 рази) межу витривалості. Нітроцементація за 650 °С впродовж 3 годин після попереднього гартування забезпечує максимальну величину межі втоми для сталі 30ХГТ – 460 МПа.

Актуальним дослідженням є випробування нового азото- та вуглецевомісного середовища для прискорення технологічного процесу ХТО. В роботах [24, 25] було проведено дослідження впливу технологічних параметрів при низькотемпературній нітроцементації на структуру й властивості легованої сталі. Було встановлено, що оптимальний режим для зміцнення поверхневого шару шляхом нітроцементації - температура - 550 °С, час нітроцементації - 5 годин в порошковій суміші, при якому твердість на поверхні має значення 9,3 ГПа, а загальна глибина дифузійного шару склала 0,3 мм. Показано, що відбувається прискорення дифузійних процесів ~ в 5–10 разів, яке залежить від температури запропонованого способу нітроцементації при застосуванні ХТО.

В роботі [26] показана можливість використання дешевого та економічного методу зміцнення сталевих деталей наплавленням у середовищі захисних газів з подальшою хіміко-термічною обробкою для відновлення автомобільних деталей. Аналіз термохімічно оброблених зразків показав високу твердість поверхневого

шару. Середнє значення твердості на поверхні складає 780 ± 10 HV. Прожарювання відповідає значенню 0,5 мм. Товщина дифузійного шару близько 0,4 мм бути досягнута в короткий час порівняно з процесом цементації. Це можливе завдяки наявності азоту в карбюризатор, який збільшує швидкість дифузії вуглецю у матеріалі. Процес нітроцементації за температури 860 °C дозволяє уникнути небажаного укрупнення зерна. Таким чином можна отримати дифузійний шар на поверхні матеріалу із сприятливими функціональними характеристиками. У структурі дослідженого дифузійного шару зразка було виявлено мартенсит, залишковий аустеніт та карбіди. Отримані результати показують, що нітроцементація може бути застосована для поліпшення експлуатаційних характеристик автомобільних деталей, відновлених наплавкою. Наявність легуючих елементів справила позитивний вплив на мікроструктуру та механічні властивості наплавленого шару.

Авторами [27] представлені результати дослідження структури, фазового складу та експлуатаційних властивостей зразків зі сталі типу (20 - 30) ХГТ після об'ємного гартування з відпуском, а також після стандартного гартування з додатковою хіміко-термічною обробкою, що складається з нітроцементації із застосуванням азотисто-вуглецевих пастоподібних карбюризаторів при різних температурах. Отримано висновок, що насичувальне пастоподібне середовище на основі сажі з азотовмісними добавками (сечовина та жовта кров'яна сіль) ефективно для поверхневої зміцнюючої обробки виробів із сталі в широкому діапазоні температур. Тверді карбонітриди, що виникають на поверхні виробів, що обробляються в даному середовищі, сприяють збільшенню їх зносостійкості та інших експлуатаційних властивостей. Карбонітридна кірка на поверхні сталі, що вивчається, утворюється при проведенні запропонованої ХТО і має ту ж твердість, але більшою мірою збільшує витривалість (в 1,4 - 1,5 рази). Карбонітридна кромка на поверхні сталі (20 - 30)ХГТ, що виникає при нітроцементації в пастоподібному карбюризаторі, не знижує зносостійкість, але при цьому підвищує працездатність вузлів і деталей і міцність матеріалу.

На основі порівняльного аналізу [28] зроблено висновок про перспективність процесу хіміко-термічної обробки металів у порошкових середовищах. Запропоновано нову схему ХТО в порошках кам'яного вугілля та коксу, експериментально доведено її ефективність у зв'язку зі значним скороченням часу дифузійного насичення при нітроцементациї.

На підставі літературних даних для локального зміцнення та насичення стали вуглецем найбільш доцільним є використання високотемпературної цементациї або нітроцементациї з паст з використанням нагрівання струмом високої частоти, що дозволяє поєднувати нагрівання під загартування з дифузійним насиченням, що значно скорочує тривалість процесу [29].

В патенті [30], який відноситься до хіміко-термічної обробки металів і сплавів, зокрема до процесів швидкісної нітроцементациї в пастах, було розроблено спосіб, що забезпечує отримання зміцнених шарів, які володіють високою мікротвердістю і зносостійкістю. Формула винаходу: запропонований спосіб нітроцементациї сталевих виробів в пасті, яка містить сажу та азотовмісний компонент, при цьому як азотовмісний компонент вона містить карбамід при наступному співвідношенні компонентів, мас.ч %.: карбамід 50-55, сажа 50-45. Нітроцементацию проводять з витримкою протягом 4 год в печі при температурі 550 °С.

Автором [31] для дослідження структуроутворення дифузійних шарів при використанні електрохіміко-термічної обробки було вивчено процес високотемпературної нітроцементациї із паст для сталевих деталей. Локальне насичення сталі проводили використовуючи спеціальну активну пасту та індукційне нагрівання. Процес зміцнення сталеві поверхні нітроцементациєю з паст з використанням нагрівання струмами високої частоти дозволяє отримати шар завтовшки 0,06 - 0,9 мм з твердістю 9000 - 12000 МПа, залежно від режимів електрохіміко-термічної обробки. Структуроутворення шару може протікати як і твердофазному режимі, і при локальному оплавленні поверхні з утворенням евтектичних структур. Наявність рідкометалевої фази суттєво інтенсифікує процес, забезпечуючи формування зносостійкого сплаву на поверхні деталі.

Запропоновано пастоподібний карбюризатор на основі сажі з добавкою азотовмісних компонентів – карбаміду та заліzosинеродистого калію та проаналізовано реакції, що відбуваються в азотистовуглецевому середовищі при різних температурах [32]. Експериментально показано високу ефективність пасти в широкому діапазоні температур від 550 до 900 °С. Результати мікроструктурного аналізу показують, що при всіх температурах нітроцементациї азотисто-вуглецева паста показує дуже високу активність як азоту, так і вуглецю. Про це свідчить велика кількість карбонітридів, що утворилися на поверхні дифузійних шарів. Температура нітроцементациї вирішальним чином впливає як на глибину, так і фазовий склад карбонітридних шарів, одержуваних при нітроцементациї сталі в запропонованому пастоподібному карбюризаторі.

При низьких температурах цей карбюризатор забезпечує переважно насичення сталі азотом, причому цей процес йде з дуже високою швидкістю (0,06 - 0,10 мм/год), порівнянною зі швидкістю насичення в ціанистих ваннах. При високих температурах (вище 800 °С) спостерігається інтенсивне насичення вуглецю сталі з утворенням великої кількості карбонітридів цементитного типу. Таким чином, можна зробити висновок, що насичуюче пастоподібне середовище на основі сажі з азотовмісними добавками (сечовиною та жовтою кров'яною сіллю) цілком придатна і ефективна для поверхневої зміцнюючої обробки сталевих виробів у широкому діапазоні температур. Тверді карбонітриди, що утворюються на поверхні виробів, що обробляються в цій пасті, сприятимуть підвищенню їх зносостійкості та інших експлуатаційних властивостей [32].

Висновки

Актуальним завданням є найбільш ефективно використання дешевих недефіцитних матеріалів шляхом суттєвого покращення їх структури та фізичних властивостей. Технологічні методи зміцнення поверхневих шарів деталей, що забезпечують зміну їх механічних і фізико-хімічних властивостей, відіграють важливу роль у підвищенні їх зносостійкості і довговічності. З допомогою цих методів можна вирішити дві важливі завдання проблеми підвищення зносостійкості.

Перше завдання, основний зміст якої полягає в усуненні можливостей пошкоджуваності, полягає в розширенні діапазону швидкостей і нормальних тисків протікання нормального (окислювального) зносу. Рішення її ґрунтується на першому положенні теорії зносу та його основних наслідках.

Другим важливим завданням боротьби зі зносом, що впливає з другого становища теорії зносу і вирішуваної з допомогою технологічних методів зміцнення поверхні, є зниження інтенсивності окислювального зношування.

Поверхнєве гартування полягає в нагріванні тонкого поверхневого шару до температури утворення в ньому аустеніту і подальшому швидкому охолодженні для фіксації дрібногочастого мартенситу. Нагрів при поверхневому загартуванні здійснюється струмами високої частоти.

Хіміко-термічна обробка забезпечує підвищення зносостійкості деталей машин, головним чином за рахунок збільшення твердості поверхневого шару. Виникнення в поверхневому шарі великої залишкової напруги стиску сприяє підвищенню втомної міцності.

Нітроцементация це процес насичення поверхневого шару деталі одночасно вуглецем і азотом. В результаті нітроцементации збільшується твердість і виникають у поверхневому шарі залишкови напруги стиснення, що призводить до підвищення зносостійкості, міцності втоми і корозійної стійкості деталей машин.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика і властивості сталі 25ХГТ

Сталь 25ХГТ – конструкційна низьколегована, хромомарганцева, що підлягає ХТО (цементация та нітроцементация) та економно-легована сталь.

За ціною сталь 25ХГТ значно дешевше, ніж нікелевмістні сталі, а також для спадково дрібнозернистої сталі 25ХГТ більш простий і менш енергоємний процес хіміко-термічної та термічної обробки. Для сталі 25ХГТ можлива більш висока температура цементации, що скорочує час проведення процесу, сталь не схильна до перегріву та зростання зерна, тому загартування після цементации можливе з нагрівання під хіміко-термічну обробку, а також немає необхідності проводити обробку холодом для усунення залишкового аустеніту після гартування.

Конструкційна низьковуглецева сталь універсального призначення 25ХГТ широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення найрізноманітніших деталей, від яких вимагається як висока об'ємна міцність, так і висока зносостійкість.

Сталь 25ХГТ містить 0,25% вуглецю, 1,0% хрому, 1,0% марганцю, до 1,0% титану, а також кремній, мідь, нікель, фосфор і сірку, які впливають на властивості сталі. В таблиці 2.1 - 2.3 приведено хімічний склад та механічні властивості сталі 25ХГТ.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі 25ХГТ, % [33]

C	Mn	Si	Cr	Ti	Cu	P	S	Ni
0,22-0,29	0,60-0,90	0,17-0,37	1,00-1,30	0,08-0,15	Не більше 0,30	Не більше 0,035	Не більше 0,035	Не більше 0,30

Таблиця 2.2

Температури критичних точок для сталі 25ХГТ, °С [33]

Сталь	A _{c1}	A _{c3} (A _{cm})	A _{r3} (A _{rm})	A _{r1}
25ХГТ	770	825	740	665

Таблиця 2.3

Механічні властивості сталі 25ХГТ [33]

Сталь	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, кДж/м ²	HRC
25ХГТ	980	1270	10	50	69	Серцевина 30-35, поверхня 57-63

2.2 Опис впливу легуючих елементів на властивості матеріалу

Розглянемо вплив легуючих елементів у сталі 25ХГТ. Основними легуючими елементами сталі 25ХГТ є хром, марганець і титан.

Важливим легуючим елементом сталі 25ХГТ є хром. Хром утворює з вуглецем карбіди різного складу. Всі карбіди є твердими структурними складовими. Тому при наявності хрому в сталі її твердість і зносостійкість збільшується. Хром сприяє збільшенню прокалюваності сталі. Цей елемент сприятливо впливає на механічні властивості сталі, а також збільшує зносостійкість і стійкість до утворення корозії.

Хром сприяє одержанню рівномірної і високої твердості сталі. Поріг холодноламкості для хромистих сталей складає 0 – 100 °С. Хром сприяє підвищенню міцності, твердості, коерцитивної сили фериту. Хром також знижує ударну в'язкість, магнітну проникність і магнітну індукцію, також знижує температурний поріг холодноламкості та сприяє дифузії вуглецю ~ 1,5 %, зменшує критичну швидкість гартування, знижує пластичність. Також хром знижує схильність зерен до росту, дуже гарно збільшує прогартуваність та підвищує стійкість сталі проти корозії та окиснення, дуже гарно покращує зносостійкість і жаростійкість [33].

Окрім хрому до складу 25ХГТ входить і марганець, який сприяє кращій прогартуваності сталі і також покращує її механічні властивості.

Вплив марганцю. Марганець є найбільш дешевим і також більш доступним легуючим елементом. Марганець здатний забезпечити високу прокалюваність і за рахунок цього виоку однорідність структурного стану сталі. Як легуючий елемент, він дає можливість отримати такі властивості, які недосяжні при

легуванні сталі іншими елементами (велике зміцнення при пластичній деформації, опір ударному зносу). Марганець, так же як і вуглець, знижує температури мартенситного перетворення та збільшує кількість залишкового аустеніту в сталі. Зміцнюючи ферит і утворюючи карбіди, він підвищує міцність сталі, але при середньому і високому вмісті вуглецю сильно знижує в'язкість і пластичність [33].

Кількість кремнію в сталі в якості домішки не перевищує 0,37 %.

Кремній і марганець переходять в сталь в процесі її розкислення при виплавці. Вони розкисляють сталь, тобто, з'єднуючись з киснем закису заліза FeO, у вигляді оксидів переходять в шлак. Ці процеси розкислення покращують властивості сталі. Кремній, дегазую метал, підвищує щільність злитка. Кремній, що залишається після розкислення в твердому розчині (в фериті), сильно підвищує межу текучості. Це знижує здатність сталі до витяжки і особливо до холодної висадки [33].

Титан - є розкислювачем для азоту, завдяки чому сталь виходить більш однорідною й щільною, та підвищується жароміцність. Введення невеликої кількості титану, який утворює важкорозчинні у аустеніті карбіди TiC, зменшують схильність хромомарганцевих сталей до перегрівання. Титан також додають для подрібнення зерна в хромомарганцевих сталях. Титан, зменшуючи схильність до зростання зерна, робить сталі із вмістом титану, такі як 18ХГТ, 25ХГТ і 30ХГТ спадково дрібнозернистими, що не схильні до перегріву, це дає можливість проводити гартування з цементаційного нагріву [33].

Окрім вуглецю, в сталі присутні такі постійні домішки як сірка і фосфор. Фосфор, як і сірка, потрапляють в метал з руд. Це шкідливі домішки, тому їх вміст у сталях строго регламентується [33].

Під час вибору матеріалів для виготовлення деталей конкретного призначення і за кресленнями замовника необхідно врахувати механічні характеристики після термічної та/або хіміко-термічної обробки, вартість і дефіцитність легуючих добавок сталі, які впливають на її загальну вартість [33].

Круги сталеві із конструкційної сталі 25ХГТ найчастіше використовують для виготовлення високонавантажених зубчастих коліс та інших деталей, твердість яких за шкалою Роквелла перевищує значення HRC 59. Дана марка сталі є дуже затребуваною в різних галузях промисловості та користується попитом.

2.3 Методи та методика проведення випробувань і досліджень

Вивчаючи будову кристалів неозброєним оком або за невеликих збільшень з допомогою лупи, виявляють макроструктуру матеріалу. Більшість матеріалів складається з дрібних кристаликів (зерен).

Під мікроаналізом розуміють вивчення будови (структури) металів та сплавів за допомогою металографічного мікроскопа (рис. 2.1). Під структурою розуміють такі особливості матеріалів, які обумовлені розміром, формою та взаємним розташуванням кристалів чи зерен, їх кількісним співвідношенням. Залежно від розмірів структурних складових та застосовуваних методів їх виявлення використовують такі поняття: макроструктура, мікроструктура та тонка структура [34].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд мікроскопа МІМ-7 [34]

Спостерігати такі дрібні структурні складові - мікроструктуру можна за допомогою оптичного (розміром до 10^{-7} м) або електронного (розміром до $2 \cdot 10^{-10}$ м) мікроскопа. Мікроскопічні методи дають можливість визначити розміри та форму кристалів, наявність різних за своєю формою кристалів, їх розподіл та відносні об'ємні кількості, форму сторонніх включень та мікропустот та ін.

Величина зерна полікристалічних матеріалів є однією з важливих характеристик структури та визначає більшість фізико-механічних властивостей матеріалів [34].

Тонка структура визначає розташування елементарних частинок у кристалі та електронів в атомі. Вивчається вона дифракційними методами (рентгенографія, електроннографія, нейтронографія).

Твердість визначаємо вдавленням твердого наконечника (кульки, конуса, піраміди) під дією заданого навантаження (рис. 2.2). Випробуванням на жорсткість оцінюємо опір значним пластичним деформаціям [34, 35].

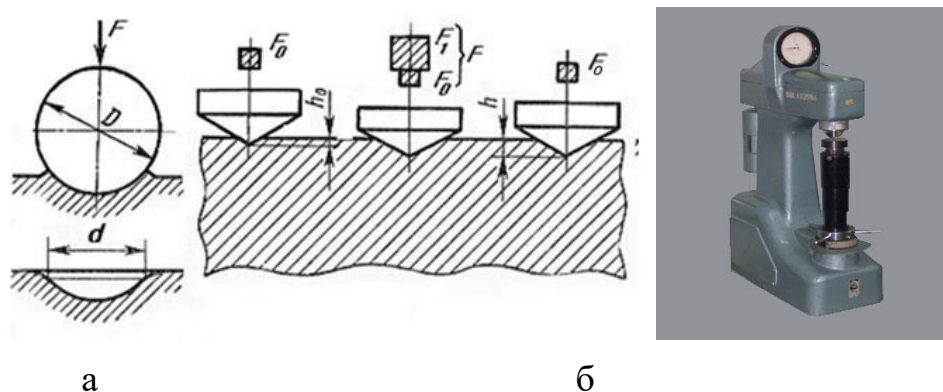


Рисунок 2.2 - Схеми випробувань на твердість: за Брінеллем (а); за Роквеллом і твердомір Роквелла (б) [34, 35]

Твердість визначали за методом по Роквелла. Сутність цього методу полягає в тому, що у дослідний зразок вдавлюють діамантовий конус для твердих металів або сталеву загартовану кульку діаметром 1,5 мм - для м'яких металів.

Для вимірювання товщини покриттів та мікротвердості нітроцементованого шару використовували прилад марки ПМТ-3 (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд мікротвердоміра ПМТ-3 [34, 35]

Мікротвердість – це твердість окремих фаз та структурних складових, твердість усередині окремих зерен, тонкого поверхневого шару (після хіміко-термічної обробки). Вибір ділянки для випробування мікротвердості та визначення розмірів відбитка роблять під мікроскопом, потім за спеціальними таблицями перераховують на так зване число твердості - відношення навантаження до поверхні відбитка. Випробувана поверхня повинна бути плоскою, гладкою, вільною від забруднень на ділянці з радіусом, що дорівнює довжині діагоналі, рахуючи від центру відбитка. Одне з головних призначень мікротвердості - кількісне уявлення про властивості фаз та структурних складових. При оцінці мікротвердості пірамідальний алмазний індентор вдавлюється в плоску відполіровану поверхню зразка під навантаженням, що діє протягом фіксованого часу (не менше 5 секунд). При випробуванні на жорсткість деформується якийсь обсяг матеріалу. Чим менше навантаження, що додається, тим менше деформується обсяг, тим точніше виявляється розподіл властивостей матеріалу [34, 35].

Метод мікротвердості призначений для оцінки твердості дуже малих обсягів матеріалу: вимірювання твердості поверхневих шарів. Як індентор найчастіше використовується чотиригранна алмазна піраміда Віккерса з квадратною основою та кутом при вершині між протилежними гранями 136° . Ця піраміда під дією прямого додатка навантаженості 0,05 - 5 Н плавно вдавлюється в зразок і дає на зразки квадратний відбиток. При центрівці необхідно домогтись того, щоб відбиток знаходився саме на тому місці, яке вибране під мікроскопом на перехресті ліній окуляр-мікрометра. При виборі поля здвоєній штрих повинен знаходитися проти цифри 4 нерухомої шкали окуляра, а нуль шкали барабанчика - точно проти риски. Потім після повороту предметного столика наноситься відбиток. Після повернення предметного столика зі шліфом у вихідне положення перехрестя має збігтися з центром отриманого відбитку [34, 35].

Циклічні випробування механічних властивостей, коли навантаження змінюється багаторазово (випробування на втому). Руйнування металу під дією повторних або знакозмінних напруг називається втомою металу. При руйнуванні

металу внаслідок втоми на повітрі злам складається з двох зон: перша зона має гладку притерту поверхню (зона втоми), друга - зона долому, у крихких металах вона має грубокристалічний будову, а в'язких - волокнисту. Втома металу обумовлена концентрацією напруг в окремих його обсягах, в яких є неметалеві включення, газові бульбашки, різні місцеві дефекти і т.д. [36].

Випробування на зносостійкість під час тертя (рис. 2.4).

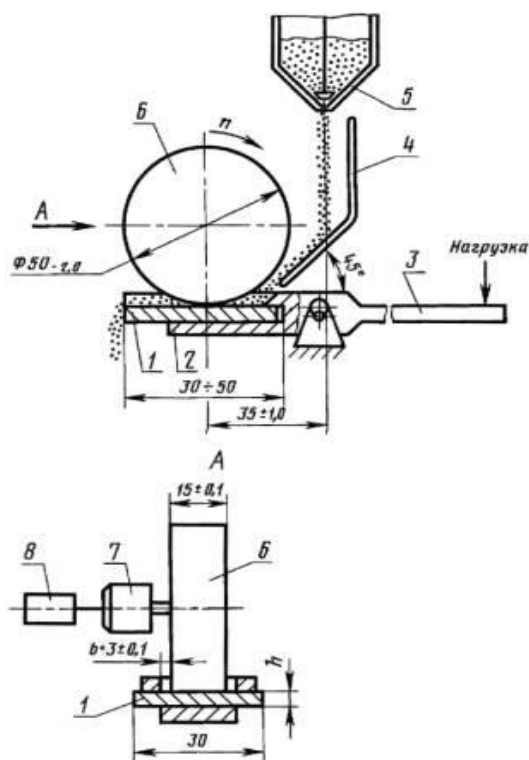


Рисунок 2.4 - Випробування на зносостійкість під час тертя [36]

Сутність методу полягає в тому, що при однакових умовах виробляють тертя зразків досліджуваного і еталонного матеріалів про абразивні частинки, що подаються в зону тертя і притискаються до зразка резиновим роликом, що обертається, вимірюють знос зразків випробуваного і еталонного матеріалів, а зносостійкість випробуваного матеріалу зі зносом еталонного зразка [36].

Випробування проводять на випробувальній установці, що містить привід 7, що забезпечує обертання навколо горизонтальної осі гумового ролика 6, зразоктримач 2, важіль 3, притискний зразок 1 до ролика, пристрій 5, що дозує подачу абразивних частинок в зону тертя по напрямному лотку 4, пристрій 4 сумарної кількості оборотів ролика у процесі випробувань [36].

В роботі було досліджено один із методів хіміко-термічної обробки сталі 25ХГТ, а також визначено вплив нітроцементациї в пастах із СВЧ на структуру та властивості сталі 25ХГТ. Процес дослідження включає такі етапи:

1. Дослідження макроструктури (макроаналіз).
2. Дослідження мікроструктури (мікроаналіз).
 - Приготування мікрошліфів.
 - Виявлення мікроструктури.
 - Методи електронно-мікроскопічного дослідження сталі 25ХГТ.
 - Визначення та оцінка мікроструктури сталі.
 - Дослідження та контроль неметалічних включень.
 - Виявлення та визначення величини зерна.
3. Випробування під час статистичного одноразового навантаження.
 - Визначення твердості.
 - За Роквеллом.
 - ПМТ-3 прилад для вимірювання мікротвердості.
4. Циклічні випробування механічних властивостей.
5. Випробування на зносостійкість під час тертя.

Висновки

Сталь 25ХГТ – конструкційна низьколегована, хромомарганцева, що підлягає ХТО (цементация та нітроцементация) та економно-легована сталь.

За ціною сталь 25ХГТ значно дешевше, ніж нікелевмістні сталі, а також для спадково дрібнозернистої сталі 25ХГТ більш простий і менш енергоємний процес хіміко-термічної та термічної обробки. Конструкційна низьковуглецева сталь універсального призначення 25ХГТ широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення найрізноманітніших деталей, від яких вимагається як висока об'ємна міцність, так і висока зносостійкість.

Сталь 25ХГТ містить 0.25% вуглецю, 1,0% хрому, 1,0% марганцю, до 1,0% титану, а також кремній, мідь, нікель, фосфор і сірку, які впливають на властивості сталі.

Під час вибору матеріалів для виготовлення деталей конкретного призначення і за кресленнями замовника необхідно врахувати механічні характеристики після термічної та/або хіміко-термічної обробки, вартість і дефіцитність легуючих добавок сталі, які впливають на її загальну вартість.

Круги сталеві із конструкційної сталі 25ХГТ найчастіше використовують для виготовлення високонавантажених зубчастих коліс та інших деталей, твердість яких за шкалою Роквелла перевищує значення HRC 59. Дана марка сталі є дуже затребуваною в різних галузях промисловості та користується попитом.

Характеристики сталі 25ХГТ досліджували наступними методами: визначали мікротвердість на приладі ПМТ-3, виконували металографічний аналіз на мікроскопі МИМ-7, Випробування на зносостійкість під час тертя проводили на випробувальній установці.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Переваги процесу нітроцементациї та нітроцементациї в пастах

На практиці для нітроцементациї використовують газову атмосферу. У цьому випадку робоче середовище отримують шляхом термічної дисоціації рідкого вуглеводню (наприклад, синтину, гасу) з додаванням аміаку, або суміш природного газу та аміаку або ендогазу, суміші метану та аміаку також використовуються в масовому виробництві.

Недоліком нітроцементациї є нестабільність процесу. Цей факт обумовлений неможливістю забезпечення точного складу нітроцементуючого середовища для газового навуглецювання. Тому незважаючи на значне прискорення процесу в порівнянні з цементациєю, газова нітроцементация застосовується рідко, тільки в умовах масового виробництва з використанням печей (агрегатів) безперервної дії з контрольованою атмосферою. Крім того, газова нітроцементация, так як цементация проводяться при температурах вище 800 °С, найчастіше від 840 до 900 °С. Замість газової нітроцементациї, доцільне застосування низькотемпературної нітроцементациї в пастах. Паста наноситься безпосередньо на зміцнюючі поверхні, що викликає реакцію утворення активних атомів азоту і вуглецю якомога ближче до поверхні сталі, де вони негайно адсорбуються та дифундують у глибину матеріалу. Споживання компонентів насичувального середовища при такому механізмі мінімальне, а насичувальна здатність висока [2, 17].

Результати насичення сталі азотом і вуглецем при нітроцементациї та режими процесу (температури, потенціали науглерожування і час) визначаються вмістом легуючих елементів [2]. Підвищення ступеня легування призводить до підвищення здатності сталі брати вуглець з карбюратора. Цей вуглець міститься в твердих розчинах і карбідах, які у високохромистій сталі можуть займати 80–90 % об'єму [17].

Карбідний шар на поверхні нітроцементованих хромистих сталей значно підвищує твердість і зносостійкість. Однак через високу крихкість він зменшує втомна міцність. Крім того, найкращі характеристики втоми досягаються для нітроцементованих шарів, вміст вуглецю в яких близько 0,7 %. Збільшення вмісту вуглецю вище цього значення призводить до зниження циклічної міцності нітроцементованої сталі. Це пов'язано з підвищенням залишкового аустеніту у сталі [17, 37].

При проведенні нітроцементатації деталей за рахунок підвищення межі текучості в дифузійних шарах можна підвищити втомну міцність та внутрішні стискаючі напруги цих шарів у результаті обробки. При нітроцементатації сталей у їх дифузійних шарах утворюється азотистий мартенсит та дрібні ізольовані частинки карбонітридів. В результаті формується багатофазна система, що володіє підвищеними механічними властивостями, в нітроцементованому шарі виникає напруга стиснення [17].

Висока втомна міцність цементованих і нітроцементованих деталей у багатьох літературних джерелах [37, 38] пояснюється високою межею плинності поверхневого шару і дією сприятливою внутрішньої напруги першого роду.

Для деталей машин, що вимагають високої межі витривалості і не допускають у процесі обробки деформацій доцільно застосовувати низькотемпературні (550-650 °C) процеси хіміко-термічної обробки. При цьому поверхня деталі набуває підвищеної міцності, а серцевина не втрачає властивостей, наданих її попередньою обробкою. В даний час для підвищення якості виробів широко застосовують нітроцементовані покриття в різних галузях техніки. Це тому, що нанесені покриття збільшують втомну міцність виробів, наприклад тонкопрофільних пластин [37, 38].

3.2 Переваги нагрівання струмами високої частоти при проведенні процесу нітроцементатації в пастах

Гартування струмами високої частоти має дуже багато переваг у порівнянні зі звичайним пічним нагрівом [34].

Першою і основною перевагою високочастотного поверхневого гартування в порівнянні з наскрізним гартуванням є зменшення крихкості деталей або виробів. Крихкість зменшується в результаті утворення пластичної і в'язкої серцевини, а в багатьох випадках внаслідок місцевого розташування загартованого шару тільки на ділянках, твердість яких повинна бути високою. Тріщини і руйнування при перевантаженні і ударах, а також при наявності дефектів металу легше виникають в деталях з наскрізним гартуванням, ніж в деталях з поверхневим твердим шаром [34].

Другою перевагою гартування з поверхневим нагрівом є істотне зменшення деформацій під час нагрівання й охолодження, що досягається за рахунок жорсткості холодної серцевини [34].

Третя перевага - практично повне усунення окислення і знеуглецювання [34].

Четвертою перевагою є зменшення витрат енергії на нагрів: нагріваємий шар в багатьох випадках складає невелику частину від маси деталі [34].

П'ята перевага - при порівнянні високочастотного поверхневого гартування з методами звичайної хіміко-термічної обробки звертає на себе увагу в першу чергу колосальний вигравш в тривалості і вартості процесів [34].

Шостою перевагою є можливість виготовлення виробів з дешевшої сталі, у той час як для забезпечення поєднання високої твердості поверхні і достатньої міцності і в'язкості серцевини нітроцементованої деталі найчастіше виготовляють з легованої сталі марок 20ХНЗА, 18ХНВА та ін [34].

Сьома перевага - високочастотне поверхнєве гартування дозволяє забезпечити властивості серцевини незалежно від властивостей твердого шару. Серцевина може мати структуру, отриману шляхом відпалу, нормалізації або гартування з високим відпуском [34].

В роботі [39] показано, що найбільш поширеними методами ХТО для валів-шестерен є цементация і нітроцементация. При цементации підвищується твердість поверхневого шару, опір вигину і розтягуванню, а також втомна міцність деталей машин. Завдяки присутності азоту нітроцементована сталь має більш високі

механічні властивості, ніж цементована сталь. Товщина шару при нітроцементациї повинна бути менша, ніж при цементациї, і, значно, підвищується межа міцності при вигині і розтягуванні. Після нітроцементациї з безпосереднім гартуванням сталь має дрібніше зерно, ніж після цементациї, що зменшує схильність до крихкого руйнування і підвищує також межу витривалості. В результаті нітроцементациї збільшується твердість і виникають в поверхневому шарі залишкові напруги стискання, що призводить до підвищення зносостійкості, втомної міцності і корозійної стійкості деталей машин.

Зроблено висновки, що дуже перспективними на сьогоднішній день є комбіновані методи зміцнення поверхневих шарів валів-шестерен з використанням ХТО і інших методів термічної обробки. Нітроцементация в пастах з нагріванням СВЧ підвищує механічні властивості валів-шестерен і значно згинальну і контактну міцність, порівняно з нітроцементациєю та поверхневим гартуванням, і дозволяє істотно зменшити деформації під час нагрівання та охолодження, що досягається за рахунок жорсткості холодної серцевини, усунути окислення та знеуглецювання, зменшити витрати енергії на нагрівання, бо шар, що нагрівається складає невелику частину від маси деталі, використовувати дешевші марки сталі, забезпечити властивості серцевини незалежно від властивостей поверхневого твердого шару. Нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ) це короткочасний процес, тому нагрів навіть до дуже високої температури не призводить до зростання зерна в сталі [39].

3.3 Проведення експериментів і представлення отриманих результатів

3.3.1 Традиційна попередня термообробка сталі 25ХГТ

Попередньою термічною обробкою для сталі 25ХГТ буде нормалізація при температурі 880-950 °С з наступним охолодженням на повітрі. Час витримки при нормалізації становить 1,5 години [34].

Нормалізація - термообробка, при якій сталь охолоджується не в печі, як при відпалі, а на повітрі в цеху. Нагрівання ведеться до повної перекристалізації,

в результаті сталь набуває дрібнозернистої, однорідної структури. Твердість, міцність сталі після нормалізації вища, ніж після відпалу. Мета нормалізації - прискорення процесу формування однорідності структури, зниження характеристик міцності після гарячої пластичної деформації (ковки), а також для підготовки структури до подальшої термічної обробки [34]. Структура після нормалізації - сорбітоподібний перліт і ферит (рис. 3.1).

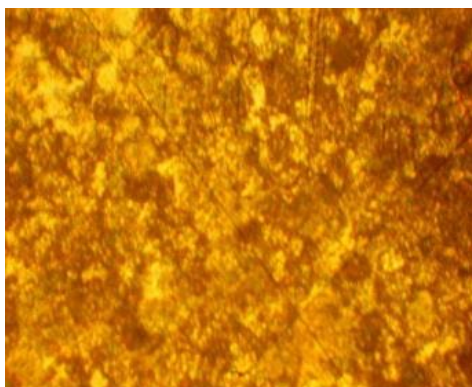


Рисунок 3.1 – Структура сталі 25ХГТ після нормалізації, x200

Далі проводиться гартування при температурі 840-860 °С (час витримки 1 година) з охолодженням у маслі для усунення відпускнуї крихкості. Твердість склала біля 50-52 HRC. Структура після гартування - мартенсит (рис. 3.2).

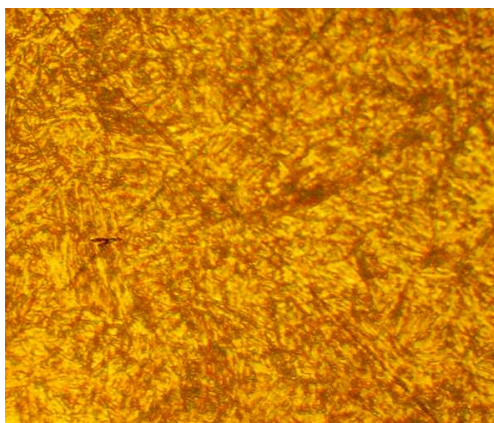


Рисунок 3.2 - Структура сталі 25ХГТ після гартування, x200

Після гартування проводять низький відпуск, який включає нагрівання загартованої сталі до 180 - 200 °С. Він застосовується для надання поверхневим шарам виробів високої твердості та зносостійкості. Низький відпуск, дещо зменшуючий внутрішні напруги, підвищує в'язкість сталі при зберіганні нею високої твердості, широко застосовують для виготовлення мірального, різального і штампового інструменту (шаблони, фрези, мітчики, зубила, штампи, волоки та

ін.), для деталей після насичення вуглецем (після цементування чи нітроцементациї) [34]. Для сталі 25ХГТ охолодження проводять на повітрі (час витримки 2 години). Структура сталі після низького відпуску називається мартенсит відпуску (рис. 3.3) та твердість складала 40-45 HRC.

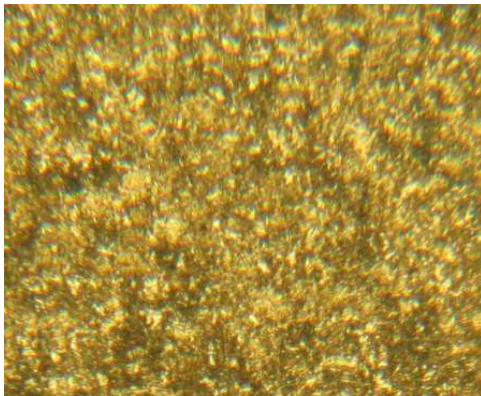


Рисунок 3.3 - Структура сталі 25ХГТ після низького відпуску, $\times 200$

Зобразимо графік режиму термічної обробки сталі 25ХГТ до нітроцементациї (рис. 3.4).

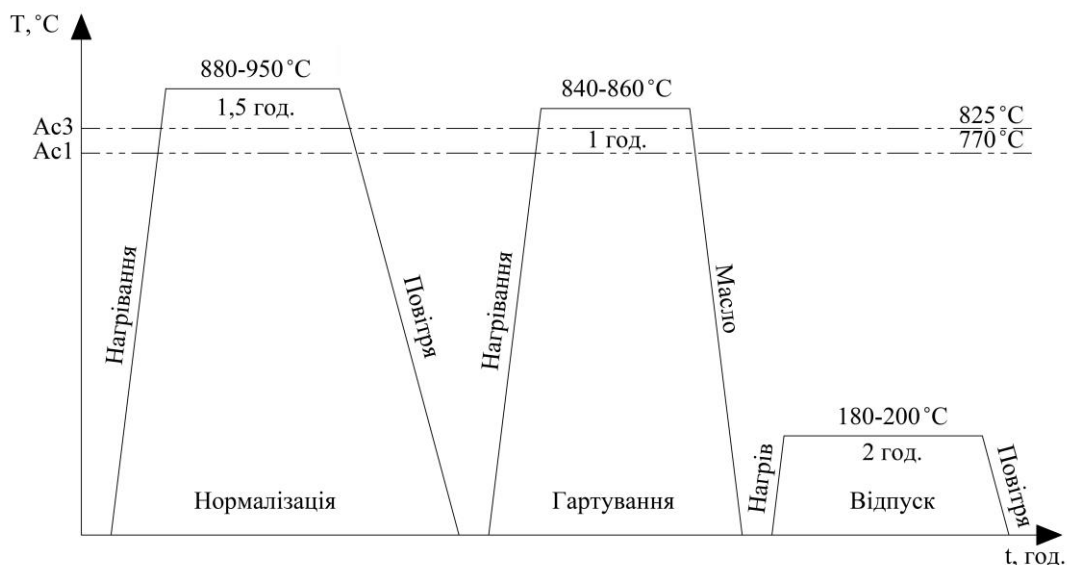


Рисунок 3.4 – Графік режимів попередньої термічної обробки сталі 25ХГТ до нітроцементациї

3.3.2 Традиційна технологія нітроцементациї сталі 25ХГТ

Традиційно для сталі 25ХГТ використовується газова нітроцементация, яка включає етапи: нітроцементация + гартування + низький відпуск [34].

Газова нітроцементация - процес насичення поверхні деталей в газовому середовищі азотом і вуглецем одночасно. В процесі виконання роботи була обрана газова нітроцементация при температурі 860-880 °С з використанням рідкого ціанізатора - триетаноламіну. Час витримки - 8 годин. Далі йде охолодження на повітрі [34].

Практичне застосування при нітроцементации знайшов тільки один рідкий комплексний карбюризатор триетаноламін ($C_2H_4OH)_3N$, який відповідає за своєю будовою вимогам, що пред'являються до карбюризатора при насиченні вуглецем і азотом одночасно. Це в'язка прозора рідина жовто-коричневого кольору. Технічний триетаноламін ($C_2H_4OH)_3N$ є третинним аміноспиртом з домішкою вторинних і первинних аміноспиртів. Його склад (вага%): N - 9,4, O₂ - 32,4, C - 48,5, H - 10,0 [34].

Графік режиму традиційної газової нітроцементации сталі 25ХГТ представлено на рисунку 3.5.

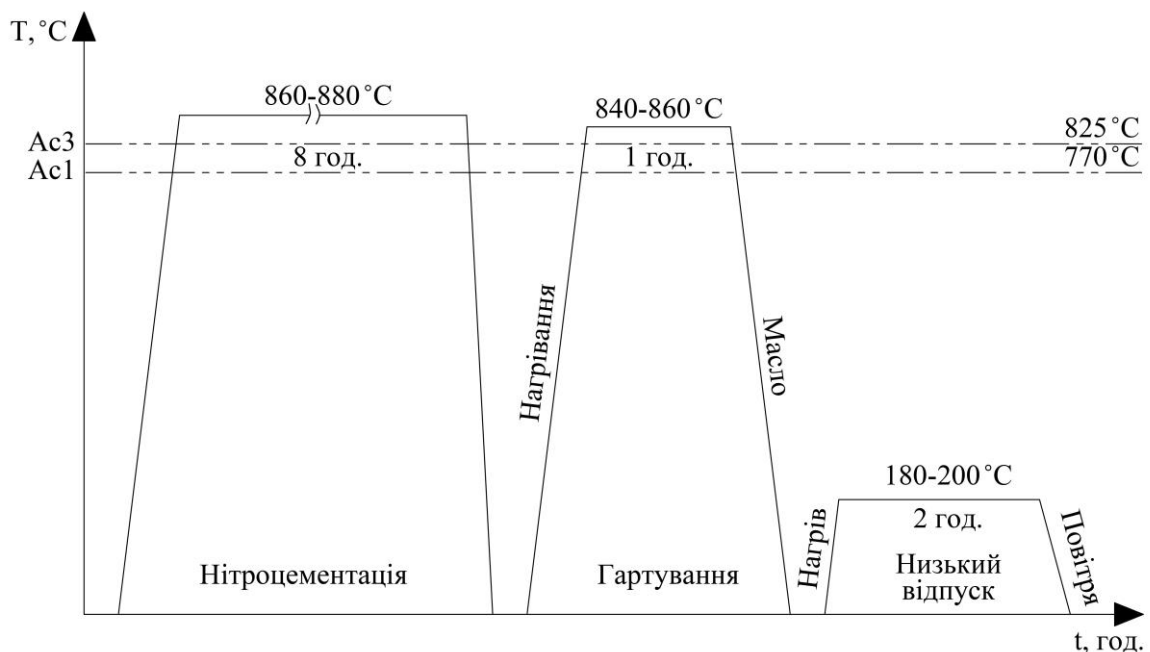


Рисунок 3.5 - Графік режиму традиційної газової нітроцементации сталі 25ХГТ

Після нітроцементации йде гартування при температурі 840-860 °С. Час витримки - 1 година з охолодженням в маслі. В якості заключної операції вибрано низький відпуск нітроцементованих зразків при температурі 180-200 °С. Час

витримки - 2 години з охолодженням на повітрі. Структура остаточно обробленого нітроцементованого зразка з поверхні являє собою дрібногольчатий мартенсит відпуску з включеннями карбонітридів і невеликою кількістю залишкового аустеніту. Евтектоїдний підшар має структуру відпущеного мартенситу, а структура серцевини - ферит і перліт (рисунок 3.6).

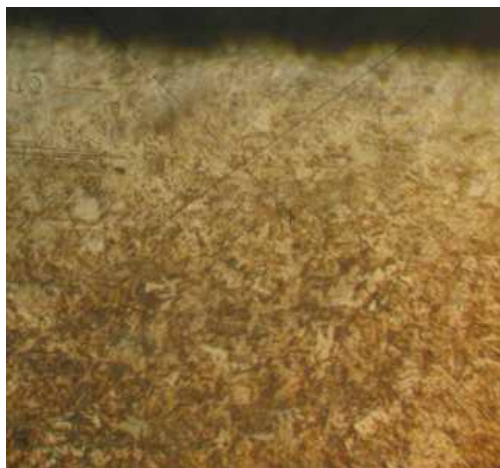


Рисунок 3.6 - Структура остаточно обробленого нітроцементованого зразка зі сталі 25ХГТ, $\times 200$

3.3.3 Нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти

В досліджуваному варіанті ми пропонуємо нітроцементацию в пастах з нагріванням струмами високої частоти.

Для того щоб деталі мали високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, підвищену контактну витривалість, в'язку, м'яку серцевину для того, щоб сприймати (гасити) знакозмінні напруги, які діють на деталі, пропонуємо проводити таку хіміко-термічну обробку: нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти + низький відпуск.

Сутність процесу нітроцементации в пастах з нагріванням струмами високої частоти і його особливості.

Процес нітроцементации в пастах з нагріванням струмами високої частоти застосовується в промисловості для отримання виробів з твердим зносостійким поверхневим шаром і м'якою та в'язкою серцевиною. Співвідношення між глибиною проникнення струму в гарячу сталь і глибиною шару, нагрітого до температури вище точки магнітних перетворень, визначає характер процесу

індукційного нагріву. Температура індукційного загартування залежить не тільки від хімічного складу сталі, але і від її початкової структури і швидкості нагріву.

Швидкості нагріву при індукційному гартуванні складають 100-1000 град/сек. При цьому фазові перетворення в залежності від складу сталі і структури зміщуються вище точки A_{C3} на 50-200 °C і більше. Регулювання швидкості нагріву дозволяє отримати найбільш вигідне поєднання процесу зародження і процесу зростання зерен аустеніту і при необхідності забезпечити тільки процес зародження майже у всьому нагрівається обсязі.

Оцінка переваг і недоліків методу високочастотної поверхневого гартування в порівнянні з нітроцементациєю приводить до висновку про необхідність паралельного використання обох методів, тобто нітроцементациї в пастах з нагріванням струмами високої частоти, яка дозволить нам отримати найкращі властивості для виробів зі сталі 25ХГТ.

Паста для нітроцементациї

Складовими компонентами пасти для нітроцементациї є: жовта кров'яна сіль або гексаціаноферрит калію - $K_4Fe(CN)_6$, деревне вугілля, вуглекислий барій - $BaCO_3$. В якості сполучного використовуємо етил силікати.

Саме таке поєднання компонентів дозволяє здійснити процес нітроцементациї, тобто сприяє утворенню атомарного азоту та вуглецю. Атомарні азот і вуглець адсорбують на поверхню зразка, а потім дифундують вглиб металу, утворюючи тверді розчини азоту і вуглецю в аустеніті.

При підвищенні концентрації азоту і вуглецю в аустеніті вище межі розчинності подальше насичення відбувається з утворенням структурно вільних нітридів і карбідів, розташованих усередині або по межах зерен аустеніту.

Літературні дані по складу пасти дуже різноманітні [2, 13, 17, 37-39]. Для визначення оптимального складу пасти були проведені експериментальні дослідження, які будуть розглянуті нижче.

Обладнання для нітроцементациї в пастах з нагріванням струмами високої частоти

Для гартування наших зразків використовуємо ламповий генератор. Лампові генератори (рис. 3.7, а) перетворюють електричний струм промислової частоти (50 Гц) в струм високої частоти за допомогою електронної лампи. В ламповому генераторі відсутні обертання і тертя, вони безшумні в роботі і не вимагають спеціальних фундаментів. Принципова схема роботи лампового генератора представлена на рисунку 3.7,б.

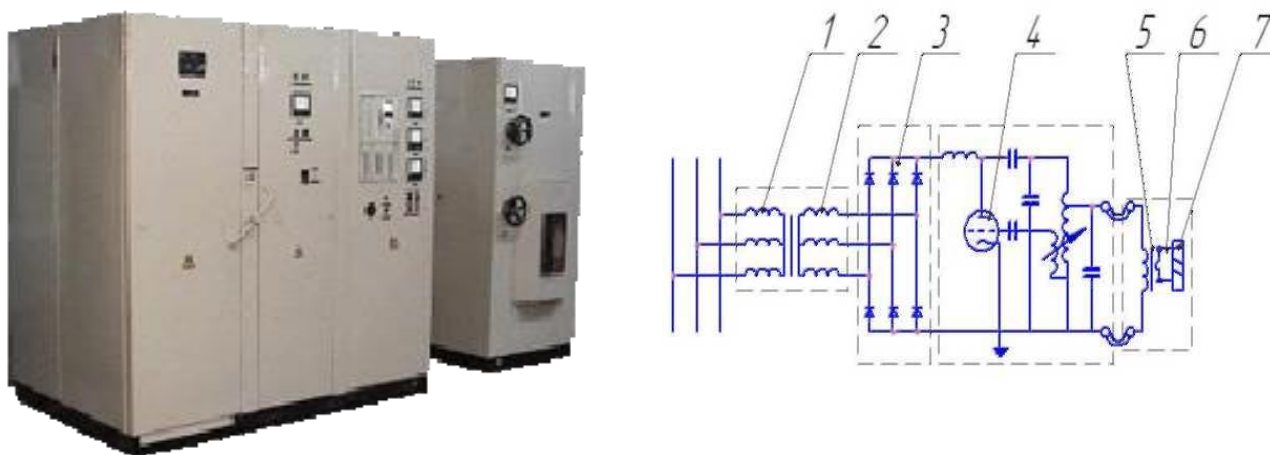


Рисунок 3.7 – Ламповий генератор (а) та принципова схема роботи лампового генератора (б): 1 - первинна обмотка трансформатора генератора; 2 - вторинна обмотка трансформатора генератора; 3 - газотронний випрямляч; 4 - анод генераторної лампи; 5 - високочастотний трансформатор; 6 - індуктор; 7 – деталь

Напруга на індукторі залежить від типу установки і розмірів індуктора та складає від 30 до 300 В. Як видно зі схеми, струм в лампових генераторах зазнає кілька перетворень. Кожне перетворення викликає втрату потужності, внаслідок чого КПД лампового генератора не перевищує 60 %. Конструкції установок з ламповими генераторами за останній час значно поліпшені, вони стали більш надійними і мають більш високі експлуатаційні показники.

Здійснення процесу нітроцементації в пастах з нагріванням струмами високої частоти

Спочатку необхідно підготувати поверхню зразків для проведення процесу. Безпосередньо перед нітроцементацією в пастах з нагріванням струмами високої частоти зразки обробляємо так, щоб їх поверхня була підготовлена для дифузії

вуглецю та азоту або навпаки захищаємо в місцях, що не підлягають насиченню. Зразки повинні мати чисту знежирену поверхню, ретельно очищену від бруду, жиру, окалини і так далі, так як забруднення різними маслами, в тому числі і пригорівшими, впливають на якість поверхні майбутньої деталі.

Процес нітроцементатації в пастах з нагріванням струмами високої частоти проводимо в кілька етапів:

1 етап - використання нітроцементованої пасти з різним процентним вмістом компонентів;

2 етап - використання різної товщини нітроцементованої пасти, що наноситься на поверхню зразків;

3 етап - використання різного часу витримки.

Розглянемо більш докладно наші експериментальні дослідження.

1 етап.

Для визначення оптимального складу пасти були проведені експериментальні роботи. Готували пасту з різним процентним вмістом компонентів, а саме:

1 зразок: 20 % жовтої кров'яної солі або гексаціаноферрит калію, 70 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію, 5-10 % етил силікати. Структура приведена на рисунку 3.8. Добре видно нітроцементатаційний шар.

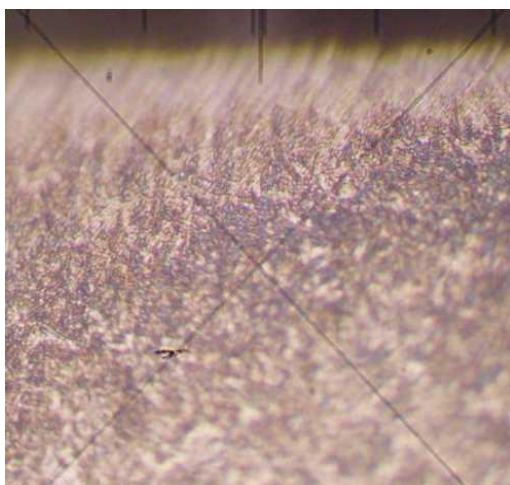


Рисунок 3.8 - Структура після нітроцементатації в пастах (20 % гексаціаноферрата калію, 70 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію, 5-10% етил силіката) + СВЧ, $\times 200$

2 зразок: 45 % жовтої кров'яної солі або гексаціаноферрат калію, 45 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію, 5-10 % етил силікати. Структура приведена на рисунку 3.9. Нітроцементованого шару у нас не вийшло. Підібрана не вірна концентрація компонентів.

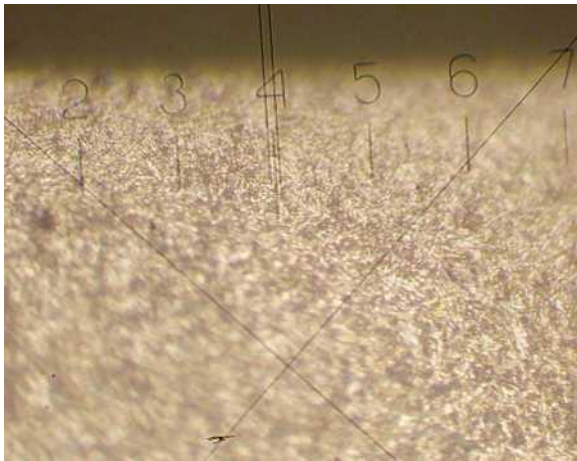


Рисунок 3.9 - Структура після нітроцементатації в пастах (45 % гексаціаноферрата калію, 45 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію, 5-10 % етил силікати) + СВЧ, $\times 200$

3 зразок : 70 % жовтої кров'яної солі або гексаціаноферрат калію, 20 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію, 5-10 % етил силікати. Структура приведена на рисунку 3.10. Нітроцементованого шару у нас не вийшло. Підібрана не вірна концентрація компонентів.



Рисунок 3.10 - Структура після нітроцементатації в пастах (70 % гексаціаноферрата калію, 20 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію, 5-10 % етил силікати) + СВЧ, $\times 200$

Паста готується дуже просто - жовта кров'яна сіль, деревне вугілля та вуглекислий барій повинні бути ретельно подрібнені (до порошку), і просушені. Потім в необхідному відсотковому співвідношенні вони змішуються і розбавляються етил силікатами.

Нанесення пасти на зразки переводимо зануренням. Товщина шару обмазки різна. Потім просушуємо протягом 1 год. при температурі 70-80 С.

Процес нітроцементатації в пастах здійснюємо при температурі 1060-1080 °С з використанням струмів високої частоти (100 000 Гц). По черзі кожен зразок поміщаємо в індуктор і витримуємо так 1-1,5 хв. Далі слідує охолодження в маслі.

Визначили, що паста оптимального складу для нітроцементатації складається із наступних компонентів: 20 % жовтої кров'яної солі, 70 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію і розбавляємо все це етил силікатами.

2 етап.

Готуємо пасту оптимального складу для нітроцементатації - змішуємо 20 % жовтої кров'яної солі, 70 % деревного вугілля, 10 % вуглекислого барію і розбавляємо все це етил силікатами.

4 зразок – товщина шару пасти 0,25 мм. Структура приведена на рисунку 3.11, з якого видно, що нітроцементованого шару у нас не вийшло. Причина - мала товщина шару нітроцементованної пасти, що наноситься.

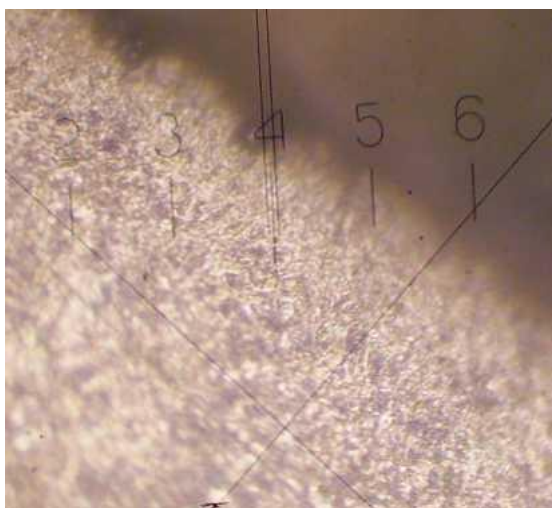


Рисунок 3.11 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементатації в пастах + СВЧ з товщиною наносимої обмазки - 0,25 мм, × 200

5 зразок – товщина шару пасти 0,5 мм, Структура приведена на рисунку 3.12, з якого видно, що на знімку спостерігається нітроцементований шар.

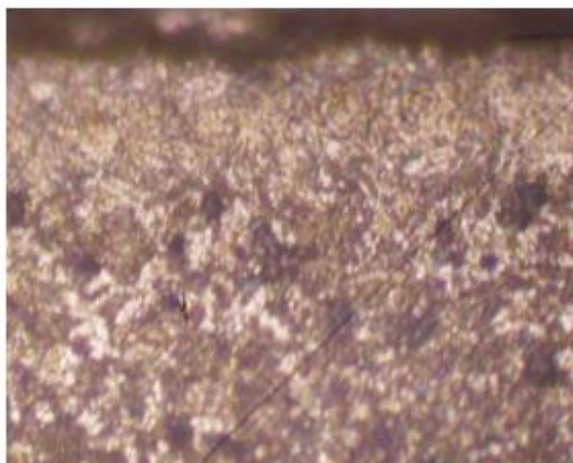


Рисунок 3.12 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах + СВЧ з товщиною наносимої обмазки - 0,5 мм, × 200

6 зразок – товщина шару пасти 2,5 мм. Структура приведена на рисунку 3.13, з якого видно, що нітроцементованого шару у нас не вийшло. Причина - велика товщина шару, що наноситься нітроцементованої пасти. Занадто товстий шар обмазки викликає відвід тепла від поверхні деталі; в результаті знижується активність процесу.



Рисунок 3.13 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах + СВЧ з товщиною наносимої обмазки - 2,5 мм, × 200

Робимо висновок, що оптимальною є товщина нанесеної обмазки ~ 0,5 мм.

3 етап.

Зразки у пасті оптимального складу для нітроцементациї (20 % жовтої кров'яної солі, 70% деревного вугілля, 10% вуглекислого барію, все розбавлено етил силікатами). Нанесення пасти на зразки проводимо зануренням. Товщина шару обмазки оптимальна - 0,5 мм. Потім просушуємо протягом 1 год. при температурі 70-80 °С. Процес нітроцементациї в пастах здійснюємо при температурі 1060-1080 °С з використанням струмів високої частоти (100 000 Гц).

По черзі кожен зразок поміщаємо в індуктор і витримуємо певний час – декілька секунд або хвилин, а саме:

7 зразок – час витримки 10 секунд. Структура приведена на рисунку 3.14, з якого видно, що нітроцементованного шару у нас не вийшло. Причина – недостатній час витримки.

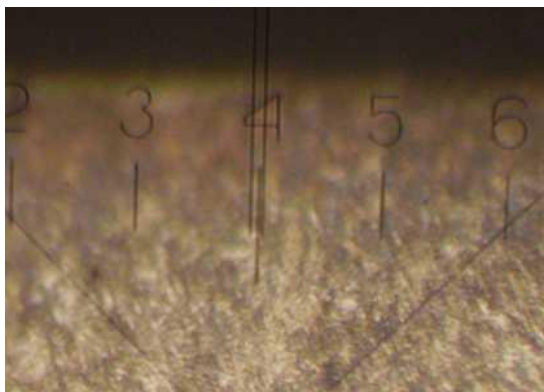


Рисунок 3.14 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах + СВЧ протягом 10 сек.,
× 200

8 зразок – час витримки 1 хв. В результаті такої термічної обробки ми отримали наступну структуру (рис. 3.15).

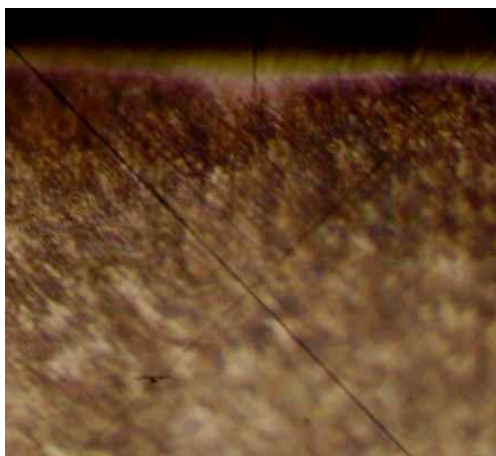


Рисунок 3.15 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах + СВЧ протягом 1 хв., × 200

За допомогою окуляра-мікрометра приладу ПМТ-3 виміряли глибину нітроцементованного шару (рис. 3.15). Визначили її наступним чином: отримане число поділок шкали окуляра-мікрометра, яке займає нітроцементований шар, помножили на ціну поділки окуляра-мікрометра. Шар займає 70 поділок шкали окуляра-мікрометра. Ціна поділки окуляра-мікрометра 0,005 мм. Тоді величина вимірюваного шару, $70 \times 0,005 = 0,35$ (мм). Таким чином, ми отримали шар глибиною 0,35 мм.

9 зразок - час витримки 1,5 хв. В результаті такої термічної обробки ми отримали наступну структуру (рис. 3.16).

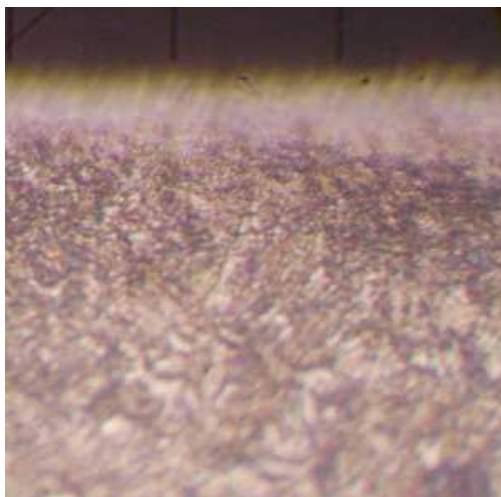


Рисунок 3.16 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементації в пастах + СВЧ протягом 1,5 хв., $\times 200$

За допомогою окуляра-мікрометра приладу ПМТ-3 виміряли глибину нітроцементованного шару (рис. 3.16). Визначили її наступним чином: отримане число поділок шкали окуляра-мікрометра, яке займає нітроцементований шар, помножили на ціну поділки окуляра-мікрометра. Шар займає 100 поділок шкали окуляра-мікрометра. Ціна поділки окуляра-мікрометра 0,005 мм. Тоді величина вимірюваного шару, $100 \times 0,005 = 0,5$ (мм). Таким чином, ми отримали шар глибиною 0,5 мм, який є оптимальним.

Далі слідує охолодження в маслі. Чим швидше відбувається нагрів, тим вищу отримуємо твердість, так як при повільному нагріванні частина активних складових пасти випаровується.

Подальша термічна обробка сталі 25ХГТ

Остаточним режимом термічної обробки для зразків зі сталі 25ХГТ був низький відпуск, який знижує залишкові напруження після нагрівання СВЧ, підвищує міцність і поліпшує в'язкість без зміни твердості.

Операція гартування з поверхневим насиченням розвиває в по-поверхневому шарі залишкові напруження стиску з деяким спадом їх до поверхні, приблизно на глибині 0,7 мм. Відпуск суттєво змінює розподіл напружень і доводить залишкові напруження стиску в поверхні до нульових значень або до напружень розтягнення.

Тому низький відпуск (180-200 °С) нітроцементованих деталей необхідний завжди як заключна операція термічної обробки. Час витримки - 2 годин. Далі

слідуює охолодження на повітрі. Графік режиму подальшої термічної обробки зразків наведено на рисунку 3.17.

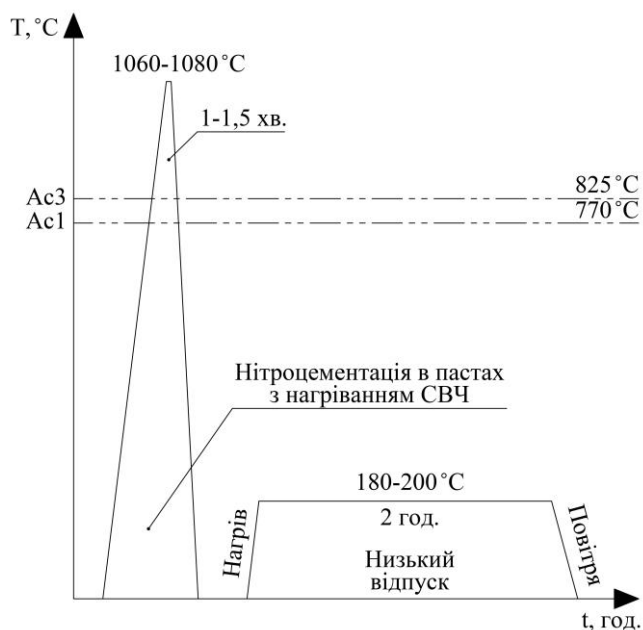


Рисунок 3.17 - Графіки режиму подальшої термічної обробки сталі 25ХГТ у досліджуваному варіанті

Після нітроцементации в пастах з нагріванням струмами високої частоти і подальшого низького відпуску сталь 25ХГТ має наступну структуру: з поверхні являє собою дрібногольчатий або безструктурний мартенсит відпуску з включеннями карбонітрідів і невеликою кількістю залишкового аустеніту. Евтектоїдний підшар має структуру відпущеного мартенситу, а структура серцевини мартенсит гартування (рис. 3.18).

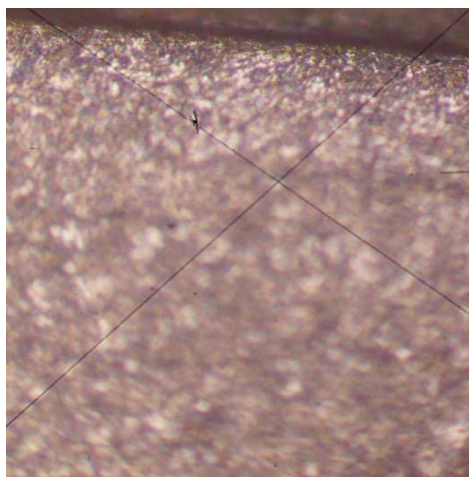


Рисунок 3.18 - Структура сталі 25ХГТ після нітроцементации в пастах + СВЧ і низького відпуску, $\times 200$

За допомогою окуляра-мікрометра приладу ПМТ-3 виміряли глибину нітроцементованого шару (рисунок 3.18). Визначили її наступним чином: отримане число поділок шкали окуляра-мікрометра, яке займає нітроцементований шар, помножили на ціну поділки окуляра-мікрометра. Шар

займає 100 поділок шкали окуляра-мікрометра. Ціна поділки окуляра-мікрометра 0,005 мм. Тоді величина вимірюваного шару, $100 \times 0,005 = 0,5$ (мм). Таким чином, ми отримали шар глибиною 0,5 мм.

Виходячи з вище проведених дослідів і обробки їх результатів, найбільш оптимальним є склад пасти: жовта кров'яна сіль 20 %; вугілля 70 %; вуглекислий барій 10 %; етил силікати - 5-10 %, при товщині пасти - 0,5 мм і часу витримки 1,5 хвилини. Було отримано шар глибиною 0,5 мм.

Нами було проведено вимірювання мікротвердості зразку при проведенні газової нітроцементациї і нітроценментациї з СВЧ при оптимально отриманих вище умовах її проведення на приладі ПМТ-3.

При нанесенні відбитків на поверхню шліфа необхідно дотримуватись наступного правила: відстань від центру відбитка до краю зразки має бути не менше двох довжина діагоналі, така ж відстань повинна бути між центрами сусідніх відбитків.

Дотримуючись даного правила ми поставили відбитки (рис. 3.19) і виміряли мікротвердість нітроцементованного шару після газової нітроцементациї і низького відпуску.

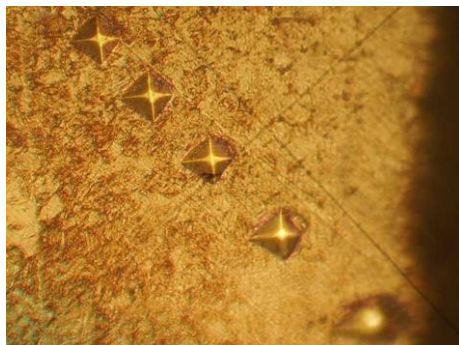


Рисунок 3.19 - Нітроцементований шар з відбитками відміряної мікротвердості, $\times 200$

За отриманими даними побудували графік зміни мікротвердості за глибиною зміцнення зразків зі сталі 25ХГТ (див. рис. 3.20). Твердість поверхні становить $H_c 690$ кгс/мм².

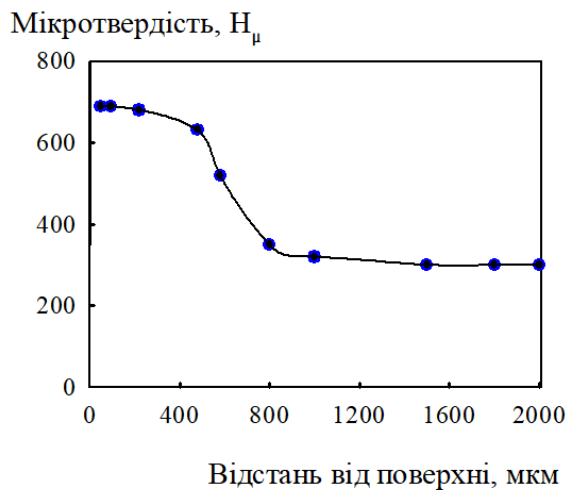


Рисунок 3.20 - Графік зміни мікротвердості по глибині зміцнення зразки зі сталі 25ХГТ після газової нітроцементатації і низького відпуску

Аналогічно, дотримуючись вище викладених правил ми поставили відбитки (рисунок 3.21) і виміряли мікротвердість нітроцементованого шару після нітроцементатації в пастах з нагріванням струмами високої частоти і низького відпуску.

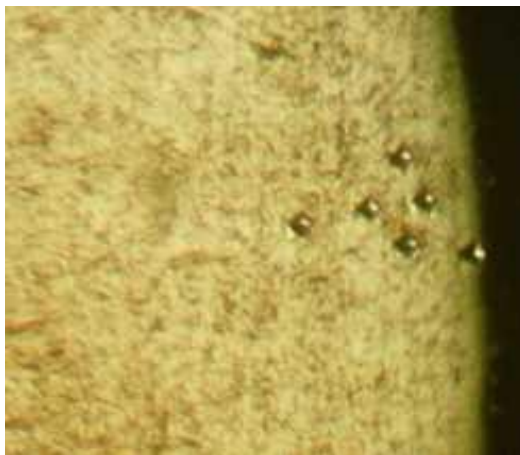


Рисунок 3.21 - Нітроцементований шар з відбитками вимірної мікротвердості після нітроцементатації в пастах з нагріванням СВЧ і низького відпуску, x200

За отриманими даними побудували графік зміни мікротвердості за глибиною зміцнення зразків сталі 25ХГТ (рис. 3.22). Твердість поверхні становить Н_μ 780 кгс/мм².

Видно, що проведення ніроценментації в пастах з СВЧ істотно підвищує мікротвердість у порівнянні з газовою нітроцементатації.

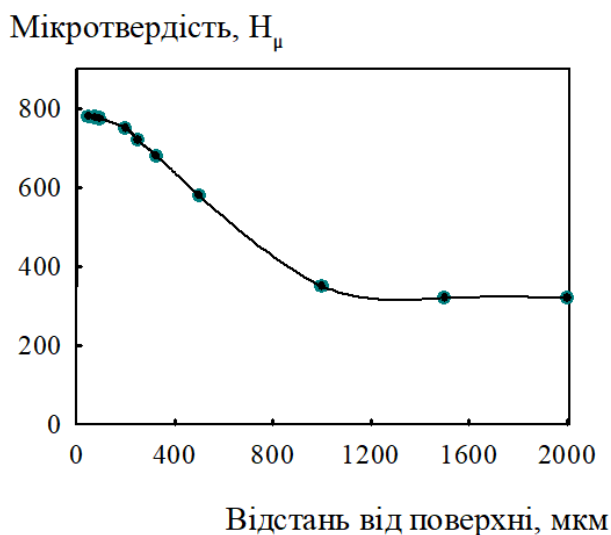


Рисунок 3.22 - Графік зміни мікротвердості по глибині зміцнення зразки зі сталі 25ХГТ після нітроцементатації в пастах з нагріванням СВЧ і низького відпуску

3.3.4 Механічні властивості сталі 25ХГТ після нітроцементатації в пастах з нагріванням струмами високої частоти

Механічні властивості сталі 25ХГТ, підданої нітроцементатації в пастах з високочастотним нагріванням, істотно відрізняється від властивостей тієї ж сталі після газової нітроцементатації.

Головною причиною, яка призводить до відмінності структури та механічних властивостей, є швидке нагрівання та короткочасне перебування сталі в області гартувальних температур.

Механічні властивості сталі 25ХГТ після нітроцементатації в пастах із нагріванням струмами високої частоти представлені на рисунку 3.23, де видно, що нагрівання струмами високої частоти призводить до підвищення міцності зразків – меж пропорційності, плинності та міцності. Властивості, що характеризують пластичність і в'язкість - подовження, звуження, ударна в'язкість - знижуються.

Характеристики міцності сталі 25ХГТ вище, ніж показники пластичності. Однак підвищення міцності та меж витривалості досягається при меншій втраті пластичності. Нітроцементатація в пастах із нагріванням СВЧ значно підвищує межу витривалості сталі 25ХГТ на відміну від газової нітроцементатації. Причиною сприятливого впливу нітроцементатації на опір втомному руйнуванню є виникнення в шарі стискаючих внутрішніх напруг I роду. Величина втомної

міцності, а також ударна в'язкість залежать від глибини шару. Чим більша глибина шару, тим менша ударна в'язкість і більша втомна міцність.

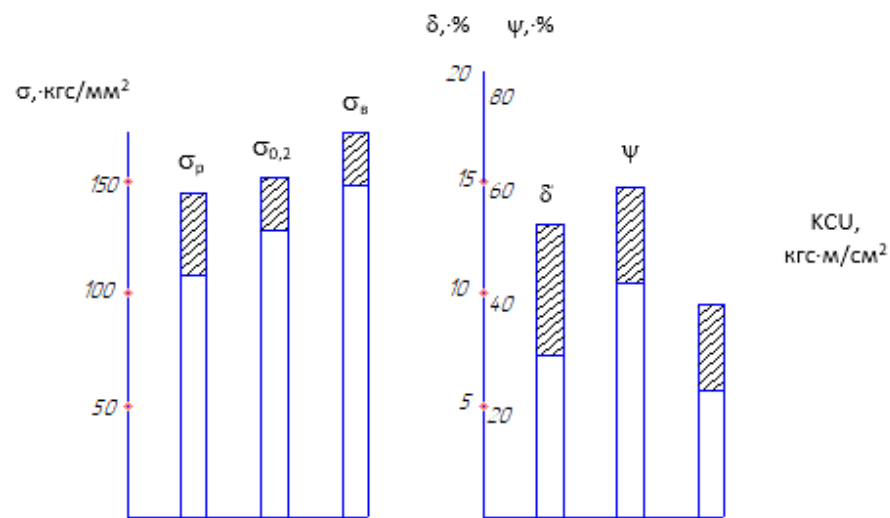


Рисунок 3.23 - Механічні властивості металу 25ХГТ після нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти

Збільшення ударної в'язкості спостерігається при одночасному підвищенні швидкості та температури нагріву. Цей результат пов'язаний з отриманням дрібніших зерен аустеніту при нагріванні і дрібніших зерен мартенситу при охолодженні.

З отриманих даних випливає, що надмірне підвищення температури нагрівання шкідливо впливає на опір вигину сталі 25ХГТ. Питання впливу швидкості нагріву не вирішено досить повно. Можна лише зробити висновок, що при високій температурі нагріву (1060 – 1080 °С) збільшення швидкості нагріву до 250-270 °С/с виявляється корисним.

Зносостійкість сталі 25ХГТ

Зношування – це процес руйнування та відділення матеріалу з поверхні твердого тіла та накопичення його залишкової деформації при терті, що проявляється у поступовій зміні розмірів та форми тіла. Знос – результат зношування. Зносостійкість – це здатність матеріалу протистояти зносу.

Випробування проводилися наступним чином: зразки зі сталі 25ХГТ після нітроцементації в пастах з нагріванням струмами високої частоти і після газової нітроцементації притискалися силою 200 кГс при частоті обертання 200 об/хв і швидкості ковзання 0,84 м/с. Внаслідок чого були отримані такі дані (рис. 3.24).

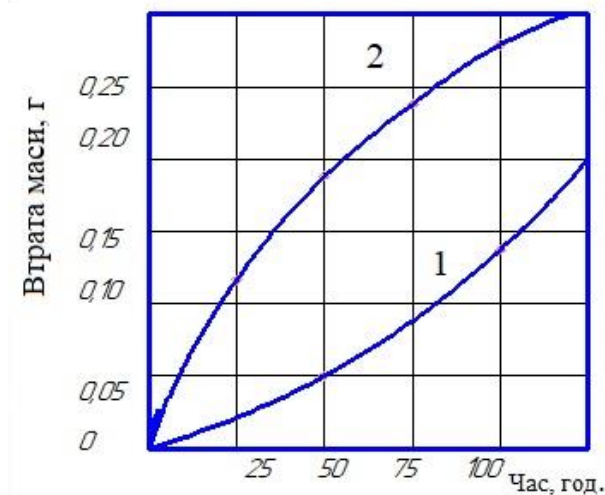


Рисунок 3.24 - Зносостійкість сталі 25ХГТ після нітроцементування + СВЧ (1) та газової нітроцементування (2)

Наведені експериментальні дані свідчать, по-перше, про зниження зносостійкості при зростанні вмісту залишкового аустеніту в шарі і, по-друге, про сприятливий вплив азоту на зносостійкість шару. Таким чином, шар, отриманий після нітроцементування в пастах з нагріванням струмами високої частоти, має високу зносостійкість, яка значно перевищує зносостійкість нітроцементованого шару після газової нітроцементування.

Встановлено, що зносостійкість шару після нітроцементування з нагріванням струмами високої частоти вище, ніж у нітроцементованого на 20-30 %. Зношення шару для сталі 25ХГТ після нітроцементування в пастах з нагріванням СВЧ на 25 % менше, ніж нітроцементованого шару. Визначено, що залишковий аустеніт значно знижує зносостійкість шару. Для отримання мінімальної кількості залишкового аустеніту в шарі і, отже, найбільшій зносостійкості рекомендуємо оптимальну концентрацію вуглецю 0,7 % і азоту 0,3 %.

3.4 Практичне значення одержаних результатів

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень було з'ясовано, що нітроцементування в пастах з нагріванням струмами високої частоти на

сьогоднішній момент є ефективним методом хіміко-термічної обробки для сталі 25ХГТ.

При нагріванні струмами високої частоти магнітний потік, створюваний змінним струмом, що проходить по провіднику (індуктору), індукує в металі зразка зі сталі 25ХГТ, вміщеного всередині індуктора, вихрові струми, які нагрівають зразок.

Основна умова правильного та по можливості рівномірного індукційного нагріву – створення для кожної деталі індуктора відповідної форми та обрисів. Товщина шару залежить від: частоти змінного струму, питомого опору металу, магнітної проникності. Якщо змінювати частоту струму, то можна в широких межах змінювати і глибину проникнення ρ , а отже, і товщину шару, яким йде струм, що викликає нагрівання поверхні зразка. З підвищенням температури нагрівання металу глибина проникнення струму зростає і досягає найбільшого значення при температурі втрати магнітних властивостей - точки Кюрі [40-42].

На рисунку 3.25 показаний схематичний графік індукційного нагріву, з якого видно, що більш швидке нагрівання відбувається при температурах нижче точки Кюрі. Вище цієї критичної точки нагрівання уповільнюється у зв'язку з втратою сталлю магнітних властивостей та фазовими перетвореннями [40, 41].

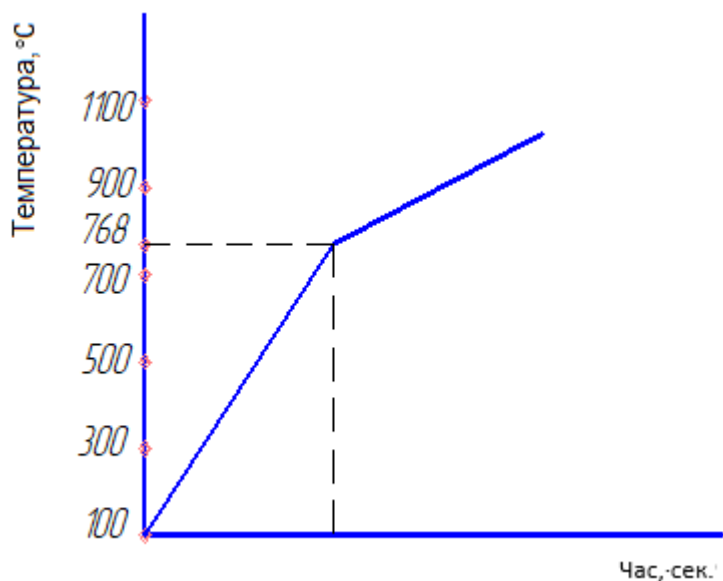


Рисунок 3.25 – Графік індукційного нагріву [40]

Також слід зазначити, що недостатній час витримки призводить до того, що не встигають пройти перетворення під час нітроцементациї, що спричиняє відсутність нітроцементованого шару.

Перетворення перліто-феритної структури на аустеніт при високій швидкості індукційного нагрівання, так само, як і при звичайному нагріванні в печі, відбувається дифузійним шляхом.

В результаті, завдяки високій швидкості індукційного нагріву, аустеніт виходить надзвичайно дрібнозернистим і неоднорідним за вмістом вуглецю та інших домішок, внаслідок чого мартенсит при гартуванні виходить дрібноголковий або безструктурний. Іноді такий мартенсит називають скритокристалічним або безгольчастим, який має підвищену твердість, міцність і зносостійкість, що пояснюється подрібненістю його блоків мозаїки, великою кількістю дислокацій, наявністю дрібнодисперсних карбідів.

На відміну від газової нітроцементациї, нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти є ефективним процесом. Підтвердженням цього є величина вимірної твердості нітроцементованого шару. При газовій нітроцементациї твердість поверхні становить $H_{\mu} 690 \text{ кгс/мм}^2$, а при нітроцементациї в пастах з нагріванням струмами високої частоти – $H_{\mu} 780 \text{ кгс/мм}^2$. Це означає, що нітроцементований шар після комбінованої обробки є як твердішим, так і більш зносостійким, що є дуже важливим показником для виробів для сталі 25ХГТ.

Також в результаті експериментальних досліджень отримано висновок про те, що нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти підвищує механічні властивості сталі 25ХГТ і контактну міцність порівняно з газовою нітроцементациєю та поверхневим загартуванням, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом.

Нітроцементация в пастах із нагріванням струмами високої частоти – короткочасний процес. Тому нагрівання навіть до дуже високої температури не призводить до зростання зерна у сталі.

Нітроцементация в пастах з нагрівом токами високої частоти є одним із прогресивних і економічних методів хіміко-термічної обробки. Даний процес дозволяє: істотно зменшити деформації під час нагріву і охолодження, що досягається за рахунок жорсткості холодної серцевини; усунути окислення і знеуглецювання; зменшити витрати енергії на нагрів: шар, що нагрівається, складає невелику частину від маси деталі; використовувати більш дешеві марки сталі; забезпечити властивості осердя незалежно від властивостей твердого шару.

Нітроцементация в пастах з нагрівом токами високої частоти:

- підвищує мікротвердість та поліпшує механічні властивості сталі 25ХГТ особливо контактну міцність та також зносостійкість, порівняно з газовою нітроцементациєю, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом,

- скорочує процес проведення ХТО, економить електроенергію, час та кошти.

Висновки

На відміну від газової нітроцементациї, нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти є ефективним процесом. Підтвердженням цього є величина мікротвердості нітроцементованого шару. При газовій нітроцементациї мікротвердість поверхні становить H_{μ} 690 кгс/мм², а при нітроцементациї в пастах з нагріванням струмами високої частоти – H_{μ} 780 кгс/мм². Отримані результати свідчать про те, що нітроцементований шар після пропонованої поверхневої обробки має більшу твердість, а отже і більшу зносостійкість, що є дуже важливим показником для виробів зі сталі 25ХГТ.

Отриманими результатами визначений оптимальний склад пасти: жовта кров'яна сіль 20 %; вугілля 70 %; вуглекислий барій 10 %; етил силікати - 5-10 %, при товщині пасти - 0,5 мм і часу витримки 1,5 хвилини. Було отримано шар глибиною 0,5 мм.

Нітроцементация в пастах із нагріванням струмами високої частоти – короткочасний процес. Тому нагрівання навіть до дуже високої температури не призводить до зростання зерна у сталі.

Нітроцементация в пастах з нагрівом токами високої частоти: підвищує мікротвердість та поліпшує механічні властивості сталі 25ХГТ, особливо контактну міцність та також зносостійкість, порівняно з газовою нітроцементациєю, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом; скорочує процес проведення ХТО, економить електроенергію, час та кошти.

Встановлено, що зносостійкість шару після нітроцементациї з нагріванням струмами високої частоти вище, ніж у нітроцементованого шару, отриманого при газовій нітроцементациї, на 20-30 %. Зношення шару для сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах з нагріванням СВЧ на 25 % менше, ніж нітроцементованого шару. Визначено, що залишковий аустеніт значно знижує зносостійкість шару.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічна ефективність науково-дослідних робіт

Розрізняють чотири види корисного ефекту від проведених науково-дослідних робіт (НДР) [43]:

1) науково-технічний ефект – характеризує науково-технічну корисність об'єкта розробки та виражається показниками:

а) науковими: кількість накопиченої інформації (монографій, збірок, статей, наукових доповідей); визнання роботи (число патентів та авторських свідоцтв, дипломів та тематичних виставок, преміювання, використання роботи в інших дослідженнях, кількість посилань на роботу в пресі); підвищення кваліфікації кадрів (докторські та кандидатські дисертації, наукові звання);

б) конструкторсько-технологічними: матеріаломісткість; енергоємність; ступінь уніфікації та стандартизації; безвідмовність та довговічність та ін.

2) організаційно-виробничий ефект – вплив застосування результатів НДР на виробничі показники: трудомісткість, продуктивність праці, економію фондів зарплати; чисельність працюючих, тривалість циклу досліджень та підготовки; виробничий цикл; використання обладнання; рівень ритмічності; рівень механізації та автоматизації праці, використання робочого часу.

3) соціальний ефект – виражається рядом якісних ознак: ліквідацією важкої фізичної праці, покращенням техніки безпеки.

4) економічний ефект – економія, досягнута використанням результатів НДР.

Вибір методів та засобів аналізу техніко-економічної ефективності НДР залежить не тільки від цілей аналізу, а й від обсягу вихідної інформації на цій стадії НДР. Так, на стадії розробки технічного завдання є дуже обмежене коло даних, тому розрахунки по вузькому колу укрупнених показників носять орієнтовний характер, широко використовуються методи екстраполяції, моделювання, аналогів і т. д. При оформленні результатів НДР, коли є основні характеристики досліджуваного об'єкта, розрахунки, що обґрунтовують доцільність проведення ОКР та

впровадження об'єкта у виробництво, мають бути зроблені значно точніше, з використанням обсягу інформації, накопиченого у процесі НДР. У цьому стадії можуть широко застосовуватися методи математичного моделювання з урахуванням ієрархічної схеми об'єкта, його основних конструкторських характеристик, результатів дослідження фізичних моделей тощо [43].

4.2 Розрахунок витрат на виконання науково-дослідної роботи

До планової собівартості НДР включаються всі витрати, пов'язані з її виконанням, незалежно від джерел фінансування. Це витрати на вивчення літератури, патентів, розробку та виготовлення дослідних зразків, проведення експериментів та опрацювання їх результатів; розроблення моделей, алгоритмів, програмного забезпечення; витрати на утримання апарату управління та загальногосподарських служб та ін. Витрати на НДР групуються у такі статті [44]:

- матеріали;
- спецобладнання для наукових (експериментальних) робіт;
- основна заробітна плата науково-технічного персоналу;
- додаткова заробітна плата персоналу;
- відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний податок);
- роботи, що виконуються сторонніми організаціями;
- накладні витрати.

На статтю «Матеріали» припадають витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби (за вирахуванням відходів), необхідні для виконання НДР. Витрати за цією статтею визначаються за чинними цінами з урахуванням транспортно-заготівельних витрат. На статтю «Спецобладнання для наукових (експериментальних) робіт» припадають витрати на придбання або виготовлення спеціальних стендів, приладів та іншого обладнання, необхідного для виконання конкретної НДР. На статтю «Основна заробітна плата» припадає основна заробітна плата наукових співробітників, інженерно-технічних працівників, лаборантів, робітників, які безпосередньо зайняті виконанням конкретної НДР. Заробітна плата визначається

виходячи з кількості працівників, їх посадових окладів та часу роботи на тему. На статтю «Додаткова заробітна плата» припадають виплати, передбачені Трудовим кодексом: оплата чергових та додаткових відпусток, оплата часу, пов'язаного з виконанням державних обов'язків та ін. На статтю «Відрахування на соціальні потреби» доводяться відрахування до Пенсійного фонду, Фонду обов'язкового медичного страхування та Фонду соціального страхування. На статтю «Витрати на роботи, що виконуються сторонніми організаціями» припадають витрати на оплату всіх видів робіт, зокрема з виготовлення дослідних зразків і макетів безпосередньо конкретної НДР. За цією статтею враховуються також витрати на оплату машинного часу, необхідного для виконання НДР [44].

Витрати на оплату машинного часу Z_m визначаються за формулою (4.1) [44]:

$$Z_m = t_m \cdot C_{m \text{ год}}, \quad (4.1)$$

де t_m – машинний час виконання розрахунків; години; приймається за фактичними витратами; $C_{m \text{ год}}$ – вартість машино-години роботи ЕОМ, грн.

До статті «Накладні витрати» включаються витрати на управління та господарське обслуговування, які відносяться до всіх НДР, що виконуються в організації. У цій статті враховується заробітна плата з відрахуваннями на соціальні потреби апарату управління та загальногосподарських служб, витрати на амортизацію та утримання універсального обладнання, будівель, науково-технічну інформацію, охорону праці та ін. Величина накладних витрат (НВ) на конкретну НДР, НВ визначаються у відсотках від основної заробітної плати працівників, які безпосередньо беруть участь у її виконанні (4.2) [44]:

$$НВ = (\% НВ / 100) \cdot ЗП_0, \quad (4.2)$$

де % НВ – відсоток накладних витрат; у наукових організаціях НВ становлять приблизно 100-150 %; $ЗП_0$ – витрати на основну заробітну плату науково-технічного персоналу, який виконує цю НДР.

4.3 Оцінка ефективності науково-дослідної роботи

Ефективність НДР характеризується відношенням ефекту від результатів НДР до витрат за її здійснення. Під ефектом НДР у загальному випадку

розуміється корисний результат, віддача від впровадження результатів наукових досліджень. Ефект від використання НДР може виявлятися у сфері виробництва, експлуатації, а також у самій сфері дослідно-конструкторської та науково-дослідної діяльності. За характером впливу на суспільний розвиток виділяють науково-технічний, економічний, соціальний, екологічний та навчально-дослідницький ефект. Науково-технічний ефект характеризується приростом наукової та технічної інформації, отриманої внаслідок проведення цього дослідження. Економічний ефект виявляється у зниженні витрат праці на проектування, виготовлення та експлуатацію деталей та виробів за рахунок застосування нових методів конструювання, розрахунків на міцність, нових технологічних процесів та ін., створених на основі результатів науково-дослідних робіт. Соціальний та екологічний ефекти проявляються у поліпшенні умов та характеру праці, ліквідації важкої та шкідливої праці, зниженні шкідливого впливу на навколишнє середовище. Навчально-дослідницький ефект проявляється у тому, що НДР, які у ВУЗі, впливають на якість навчального процесу, рівень підготовки фахівців і, зрештою, якість їх у майбутньому [44].

Оцінюючи результати НДР залежно від свого виду (фундаментальні, пошукові, прикладні дослідження, розробки) як основний критерій приймається одне із видів ефекту, інші ж враховуються як додаткові. Так, для фундаментальних та пошукових досліджень основним є науковий ефект; для прикладних досліджень та розробок - технічний та економічний. Якщо дипломний проект спрямований на вдосконалення навчального процесу та результатом його є нова лабораторна робота, навчальний посібник, стандартна програма розрахунку, то основним буде навчально-дослідницький ефект [44].

4.3.1 Оцінка наукового ефекту НДР

Науковий ефект визначає рівень науково-суспільного визнання цінності результатів дослідження; потенційні можливості використання цієї інформації у інших дослідженнях. Основними ознаками наукового ефекту НДР є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень поширення

результатів, можливість реалізації. При оцінці наукового ефекту дипломного проекту часто невідомі обсяги публікацій за результатами дослідження, участь у наукових конференціях; конкурсах та виставках і т.д. Тому науковий ефект НДР можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання. Показник E_H , що характеризує науковий ефект, визначається за формулою [44] (4.3):

$$E_H = 0,6k_{\text{нов}} + 0,4k_{\text{теор}}, \quad (4.3)$$

де $k_{\text{нов}}$ і $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання НДР; 0,6; 0,4 - вагові коефіцієнти значимості показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання НДР.

4.3.2 Оцінка технічного ефекту НДР

Технічний ефект науково-дослідної роботи виявляється у підвищенні технічних параметрів проєктованих конструкцій деталі та виробу, обладнання, технологічних процесів тощо, що розробляються з використанням результатів НДР. Перелік параметрів визначається темою науково-дослідної роботи. Ними можуть бути [44]:

- зниження маси деталі та виробу;
- оптимізація характеристик міцності агрегату (деталі та вироби);
- оптимізація параметрів системи управління, витрата енергії та ін.);
- скорочення терміну розробки виробу;
- підвищення якості виготовлення деталей та виробів, терміну їхньої служби;
- зниження матеріаломісткості, підвищення продуктивності технологічного процесу виготовлення деталей та виробів;
- підвищення рівня автоматизації та механізації технологічного процесу;
- скорочення терміну технологічної підготовки виробництва;
- скорочення номенклатури штампів, збільшення терміну їх експлуатації та ін.

Необхідно також навести кількісну оцінку технічного ефекту.

4.3.3 Оцінка економічного ефекту НДР

Економічний ефект від використання результатів НДР виявляється у зниженні витрат праці на розробку, виготовлення та експлуатацію деталі, виробу та його конструктивних елементів. Економічний ефект ґрунтується на технічному ефекті науково-дослідної роботи. Тому необхідно проаналізувати, як позначаться технічні переваги, які забезпечить використання результатів НДР, на витратах на виконання проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки виробництва, виготовлення конструктивних елементів деталі та виробу та експлуатації деталі та виробу. Наприклад, застосування сучасних методів розрахунку на міцність конструктивних елементів, заснованих на розробці кінцево-елементної моделі та розрахунку її на комп'ютері, дозволяє спроектувати конструкцію, оптимальну за масою. Це забезпечить економічний ефект на стадії експлуатації деталі та виробу за рахунок зниження маси конструкції та, відповідно, збільшення корисного навантаження. Зміняться одноразові витрати на стадії проектування конструкції. За рахунок скорочення обсягу випробувань у процесі розробки та подальших довідкових робіт, а також термінів проектування витрати зменшаться, а у зв'язку з розробкою та розрахунком кінцево-елементної моделі – зростуть [44].

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідних робіт

Дослідження, виконане в кваліфікаційній роботі магістра, дозволяє зробити висновок про практичну можливість заміни стандартного режиму остаточного хіміко-термічного зміцнення, тобто газової високотемпературної нітроцементації для сталі 25ХГТ за наступним стандартним режимом: нітроцементація (860-880 °С, 8 год.) + гартування (840-860 °С, 1 година) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години) на експериментальний режим: нітроцементація в пастах з нагріванням струмами високої частоти (1060 – 1080 °С, 1,5 хвилини) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години).

Так, наприклад, якщо стандартна хіміко-термічна обробка для сталі 25ХГТ складається за часом із 11 годин, то експериментальна ~ із 2 годин. Це свідчить про

те, що ми скоротили час роботи на 9 години, тобто в 5 разів, а отже зменшаться витрати на електроенергію і оплату праці робітникам. Окрім того, стандартна нітроцементация є довготривалою і проводиться протягом 8 годин, а запропонована нітроцементация в пастах з нагріванням СВЧ відбувається за 1 – 1,5 хвилин. Тобто це економить ресурси печі і час на проведення нітроцементации. Це також призведе до зменшення витрат на електроенергію.

Витрати на силову електроенергію по даній операції [45, 46]:

$$E = [K_1 \cdot N_y \cdot (t_{ум} - t_{маш}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{маш}] \cdot (S_e/60) \quad (4.4)$$

де N_y - сумарна встановлена потужність одиниць обладнання, кВт; $t_{маш}$ - машинний час, хв.; K_1 - коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при безбраковій роботі обладнання; приймається $K_1 = 0,25$; K_2 - коефіцієнт використання встановленої потужності устаткування в процесі термообробки; приймаємо: базовий варіант 0,8, проєктований 0,8; S_e - вартість одного кВт/год. електроенергії, грн.; приймається $S_e = 6,0$ грн.

Стандартний технологічний процес – нітроцементация (860-880 °С, 8 год.) + гартування (840-860 °С, 1 година) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години):

$$E = [0,25 \cdot 100 \cdot (660-0,15) + 0,8 \cdot 100 \cdot 0,15] \cdot (6/60) = 710,75 \text{ (грн.)}$$

Проєктований технологічний процес – нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти (1060 – 1080 °С, 1,5 хвилин) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години):

$$E = [0,25 \cdot 75 \cdot (120-0,15) + 0,8 \cdot 100 \cdot 0,15] \cdot (6/60) = 97,95 \text{ (грн.)}$$

Основна та додаткова зарплата виробничого робітника з відрахуваннями на соціальне страхування й в інші фонди (за виконувану операцію стандартна ХТО нітроцементация (860-880 °С, 8 год.) + гартування (840-860 °С, 1 година) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години) та експериментальна ХТО (гартування (880 °С, охол. в маслі) + низькотемпературна нітроцементация (600 °С, 3 год.)) [45, 46]:

$$Z_p = C_{\text{ч}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{t_{\text{шт}}}{60} \cdot K_{\text{мн}} \cdot n, \quad (4.2)$$

де $C_{\text{час}}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн. (приймаємо IV розряд: ставка за базовим і проєктованим варіантом - 3,08 грн./рік); K_1 – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо: базовий і проєктований варіант $K_1 = 1,48$); K_2 – коефіцієнт, що враховує багатостаттєве обслуговування (приймається $K_2 = 1,375$); $t_{\text{шт}}$ – штучний час на операцію, хв.; $K_{\text{мн}}$ – коефіцієнт, що враховує обслуговування декількома одиницями обладнання; приймається $K_{\text{мн}} = 1$; n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Стандартний технологічний процес – нітроцементация (860-880 °С, 8 год.) + гартування (840-860 °С, 1 година) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години):

$$Z_p = 3,08 \cdot 1,48 \cdot 1,375 \cdot (660/60) \cdot 1 \cdot 1 = 68,97 \text{ (грн.)}$$

Проєктований технологічний процес – нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти (1060 – 1080 °С, 1,5 хвилини) + низький відпуск (180-200 °С, 2 години):

$$Z_p = 3,08 \cdot 1,48 \cdot 1,375 \cdot (120/60) \cdot 1 \cdot 1 = 12,54 \text{ (грн.)}$$

У нашому випадку це буде складати певний економічний ефект.

Можна зробити висновок про те, що поточні витрати підприємства на зміцнення деталей зі сталі 25ХГТ, які піддаються газовій нітроцементации, значно більші на відміну від деталей зі сталі 25ХГТ, що піддаються нітроцементации у пастах із нагріванням струмами високої частоти.

Часто дослідження, виконане в кваліфікаційній роботі, є лише частиною науково-дослідної роботи, виконуваної в університеті, і може не мати самостійного економічного значення. У цьому випадку дипломник повинен привести розрахунок економічної ефективності всієї роботи, зазначивши свою роль у її виконанні.

Висновки

Зважаючи на складність і велику трудомісткість визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт, розрахунки можуть бути орієнтовними. Проте на додаток до розрахунків необхідно зазначити, за якими ще напрямками може виявитися ефективність виконаних розробок і які, не враховані в розрахунку, витрати можуть знадобитися для впровадження цих розробок у виробництво.

Вибір методів та засобів аналізу техніко-економічної ефективності НДР залежить не тільки від цілей аналізу, а й від обсягу вихідної інформації на цій стадії НДР. Так, на стадії розробки технічного завдання є дуже обмежене коло даних, тому розрахунки по вузькому колу укрупнених показників носять орієнтовний характер, широко використовуються методи екстраполяції, моделювання, аналогів і т. д.

Поточні витрати підприємства на зміцнення деталей зі сталі 25ХГТ, які піддаються газовій нітроцементатії, значно більші на відміну від деталей зі сталі 25ХГТ, що піддаються нітроцементатії у пастах із нагріванням струмами високої частоти.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Метою даного розділу є вивчення та аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що можуть мати місце на робочих місцях біля термічних печей та допоміжного обладнання і в цеху що проектується (загазованість, підвищені температури, електромагнітне випромінення та інші) [47].

В термічному і хіміко-термічному цеху для термообробки деталей використовується наступне обладнання: камерні та шахтні електричні печі, вакуумні печі, дробострумінний апарат, правильний прес і мостовий однобалочний кран для їх переміщення. За допомогою цього обладнання проводять наступні види термічної обробки: гартування, високий, середній та низький відпуск, термічна обробка з застосуванням захисної атмосфери, старіння в вакуумі [34].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори – це фактори, вплив яких за певних умов може призвести до захворювання, зниження працездатності або негативного впливу на здоров'я людини. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які враховують при проектуванні цеху, можна розділити на фізичні та хімічні [47].

Фізичні [47]: недостатнє освітлення (природне і штучне); шум; вібрація; небезпека пожежі або вибуху; можливість термічних опіків; небезпека ураження електричним струмом.

Хімічні [47]: загазованість; запиленість, хімічні речовини, що застосовуються при ХТО.

5.1 Мікроклімат робочих приміщень

Нормування величин мікроклімату здійснюється згідно з санітарними нормами [47].

Мікрокліматичні умови – це параметри температури, відносної вологості, швидкості руху повітря в робочій зоні або в зоні обслуговування та на постійних

робочих місцях, встановлені відповідними нормами. Оптимальними мікрокліматичними умовами вважаються такі мови, при яких має місце найвища працездатність та нормальне самопочуття. Як відомо, підвищення температури негативно впливає на стан людини: підвищується втомленість, з'являється головний біль, біль в серці. Може призвести навіть до втрати свідомості [47].

Працівники, які працюють в цеху мають окрім постійних робочих місць, біля печей, мають непостійні робочі місця біля допоміжного обладнання. Так як робота в цеху потребує значного фізичного навантаження, пов'язана із постійним переміщенням, а також перенесення значних вантажів, тому можна вважати, що категорія робіт за ступенем важкості у цеху буде Пб. Температура повітря в холодну пору повинна становити 18 °С, а теплу пору року повинна бути 25 °С. Швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,5 м/с. Параметри мікроклімату в термічному цеху ється повинні відповідати вимогам, наведеним в таблиці 5.1 [48].

5.2 Вентиляція робочих приміщень

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечити не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря. Внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Шкідливими вважаються речовини, що при контакті з організмом людини за умов порушення вимог безпеки можуть призвести до виробничої травми, професійного захворювання або розладів у стані здоров'я, що визначаються сучасними методами як у процесі праці, так і у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь [49].

Шкідливі речовини можуть проникати в організм людини через органи дихання, органи травлення, а також через шкіру та слизові оболонки. На ділянці виготовлення ендогазу, де проходить спалювання природного газу виділяються оксиди вуглецю та азоту. На ділянці дробоочищення відбувається виділення металевих пилю та окалини [50].

Таблиця 5.1

Норми мікроклімату в робочій зоні [48]

Пора року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима	Оптимальна ^а	Допустима
			Нижня межа		Верхня межа					
			На робочих місцях							
Постійних	Непостійних	Постійних	Непостійних	Оптимальна	Допустима	Оптимальна ^а	Допустима			
Холодна	ПБ	17-19	15	13	21	23	40-60	75	0,2	0,3
Тепла	ПБ	20-22	16	15	27	29	40-60	70	0,3	0,2-0,4

Всі ці шкідливі пари та гази, проникаючи в організм людини під час дихання та ковтання, а також крізь шкіру, викликаючи отруєння. Небезпека отруєння залежить від концентрації, часу дії отрути, умов навколишнього середовища. Шкідливі речовини, що потрапили в організм людини спричиняють порушення здоров'я лише в тому випадку, коли їхня кількість в повітрі перевищує граничну для кожної речовини величину. В повітрі робочої зони виробничих приміщень встановлюються гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (ГДК), підвищення яких дозволяється [50].

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити з приміщення забруднене або нагріте повітря та подати свіже, тобто забезпечити в приміщеннях метеорологічні умови, що відповідають нормативним вимогам, а також виключити можливість вмісту в повітрі шкідливих речовин, які перевищують ГДК [50].

Природна вентиляція відбувається в результаті теплового і вітрового напору. Тепловий напір обумовлений різницею температур, а значить і густиною внутрішнього і зовнішнього повітря. Вітровий напір обумовлений тим, що при обдуванні вітром будівлі, з її навітряної сторони утворюється підвищений тиск, а підвітряної – розріджений. Штучна вентиляція, на відміну від природної, дає можливість очищувати повітря перед його викидом в атмосферу, виловлювати шкідливі речовини безпосередньо біля місць їх утворення, обробляти припливне повітря (очищувати, підігрівати, зволожувати), більш цілеспрямовано подавати повітря в робочу зону [50].

В даному термічному цеху, що проектується, передбачена загальнообмінна вентиляція, а над баком з маслом який використовується для гартування і біля заточного верстату буде встановлена місцева витяжна вентиляція. У побутових приміщеннях планується встановити кондиціонери за допомогою яких створюватимуться та автоматично підтримуватимуться задані параметри повітряного середовища [50].

5.3 Захист від шуму і вібрації

Джерелами шуму та вібрацій є вентилятори, штовхачі, дробометні установки, кран-балка та ін. Постійний вплив цих факторів впливає на здоров'я працюючих. Шум може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси організму людини. Фізіологічні та біологічні наслідки можуть проявлятися у формі порушення функцій слуху та інших аналізаторів, зокрема вестибулярного апарату, координуючої функції кори головного мозку, нервової системи, системи травлення і кровообігу [48].

Шум не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 10-15 %, але й нерідко призводить до професійних захворювань. У зв'язку з цим боротьба із шумом має не лише санітарно-гігієнічне, але і велике техніко-економічне значення [47], тому регламентують граничні величини шуму на робочих місцях.

Джерелом вібрації є неврівноважені сили, які виникають в технологічному устаткуванні (машинах) і які передаються будівельним конструкціям. Розташування інженерного обладнання в приміщеннях вимагає вживання заходів щодо зниження вібрації будівельних конструкцій до величин, які забезпечують допустимий рівень шуму в приміщеннях. Найбільш ефективним та технічно доцільним методом зниження вібрації будівельних конструкцій є зниження неврівноважених сил, тобто динамічних навантажень, які створюються машинами [47].

Обладнання, яке створює значні динамічні та циклічні навантаження, таке як прес та дробеметна установка, плануємо встановити на окремих фундаментах, не пов'язаних з каркасами будівель або в підвальних приміщеннях, щоб запобігти розбалансуванню [47].

Динамічні навантаження, які виникають в машинах, можуть бути знижені наступними шляхами [47]:

1. Ретельним динамічним балансуванням обертових частин агрегатів;
2. центруванням муфтових з'єднань вентилятора;
3. ліквідацією перекосів та великих зазорів у підшипниках;
4. надійним закріпленням розмінних частин обладнання;

5.4 Освітлення цеху

Для нормальної роботи в термічному цеху необхідно забезпечити достатнє освітлення. Залежно від джерела світла освітлення може бути природним (створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу), штучним (створюється електричними джерелами світла) та суміщеним. Для створення сприятливих умов роботи рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам для даного виду роботи [48-51].

Норми освітлення для ділянок термічного цеху наведені в таблиці 5.2 [51].

Для штучного освітлення виробничих і складських приміщень передбачаємо газорозрядні лампи низького й високого тиску. Віконні прорізи не

забезпечують достатнє освітлення й аерацію, тому для заповнення цього недоліку використовуємо вертикальні ліхтарі.

Таблиця 5.2

Норми освітлення ділянок термічного цеху [50]

Назва ділянки	Освітлення, лк		Значення КПО, %	
	комбіноване	загальне	природне	Суміщене
Пічний зал	-	75	1	0,7
Робоче місце для печей	200	150	3	1
Контрольно-вимірвальні прилади	300	200	3	1
Робочі місця контролерів ОТК	500	200	4	2,4

Вертикальні менше забруднюються, але дають меншу інтенсивність освітлення. Перевагою їх є також зручність механізованого керування відкриванням і закриванням знизу цеху [50].

5.5 Електробезпека на виробництві

Термічний цех належить до особливо небезпечних приміщень [50].

Усі основні механізми, установки, приводи, транспортне обладнання цеху живиться від трьохпровідникової цехової мережі напругою 380 В і двохпровідникової – напругою 220 В. Електрообладнання печей підлягає заземленню за робочої напруги більше як 42В [51].

Причинами враження струмом можуть стати [51]:

- випадкове доторкання або наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою;
- поява напруги на металевих конструктивних частинах електрообладнання при пошкодженні ізоляції та інших причин;
- поява напруги на вимкнених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, унаслідок помилкового увімкнення обладнання;

– виникнення крокової напруги на поверхні підлоги при замиканні дрота на підлогу.

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин устаткування, які можуть виявитися під напругою внаслідок замикання на корпус або з інших причин, наприклад у результаті індуктивного впливу сусідніх токоведучих частин.

Занулення - це електричне з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановки, що можуть виявитися під напругою, з нульовим захисним провідником живильної мережі. Для уникнення можливості враження робітників електричним струмом необхідно постійно перевіряти якість ізоляції токоведучих частин, стан захисного заземлення (занулення) та справність сигналізації. Всі робітники повинні пройти інструктаж щодо правил безпеки при роботі з електрообладнанням та розписатися в журналі з інструктажу [50-51].

Розрахунок електрозаземлення

Згідно [50] приміщення цеху з термічної та хіміко-термічної обробки за класифікацією виробничих приміщень по безпеці поразки електрострумом відноситься до першого класу. Допустимий опір заземлювального пристрою, для устаткування напругою до 1000 В і потужністю 100 кВт дорівнює 4 Ом. Довжина заземлювача 3 метри, ширина 40 мм, відстань від поверхні до заземлювача 0,6 м.

Опір ґрунту в місці розташування пристрою, що заземлюється [50]:

$$\rho = 2,0 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

визначаємо опір заземлювача розтікання струму:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi} \cdot l \left(\lg \frac{2 \cdot l}{b} + 0,5 \lg \frac{4t + l}{4t - l} \right) \quad (5.1)$$

де: l – довжина заземлювача, м;

b – ширина, м;

t – відстань до центра заземлювача при заглибленні його $t_0 > 0,5\text{м}$

t_0 – відстань до заземлювача, м.

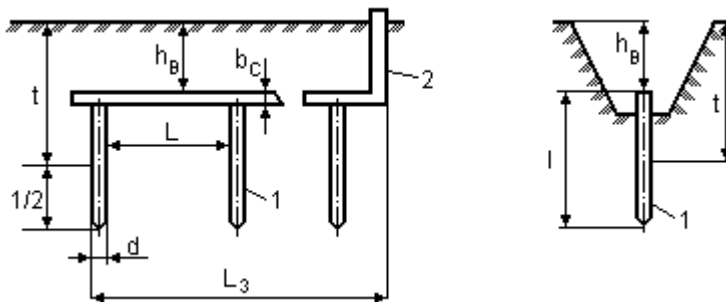


Рисунок 5.1 - Схема позначення розмірів для розрахунку захисного заземлення:
1 – заземлювач; 2 - з'єднувальна стрічка.

$$t = \frac{1}{2} + t_0 = 2,1;$$

$$R_1 = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,04} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 2,1 + 3}{4 \cdot 2,1 - 3} \right) = 24,85 \text{ Ом}$$

умовне число заземлювання визначаємо [50]:

$$n \cdot \eta = \frac{R_1 \cdot k}{R_n} \quad (5.2)$$

де: η – коефіцієнт використання одиничних заземлювачів;

k – коефіцієнт сезонності

R_n – опір смуги, Ом;

$$R_n = \frac{0,366 \cdot p}{l} \lg \frac{2l^2}{b \cdot t}, \quad l > 5t \quad (5.3)$$

де: l – умовна довжина полоси, м;

b – ширина смуги, м.

$$R_n = \frac{0,366 \cdot 200}{20} \lg \frac{2 \cdot 20^2}{0,04 \cdot 2,1} = 14,56$$

$$n \cdot \eta = \frac{24,85 \cdot 1,4}{14,56} = 2,39$$

За умовним числом заземлювачів і відстані між ними $a = 2$ м знаходимо $\eta = 0,48$ і уточнюємо k (по графіку).

$$n = \frac{2,39}{0,41} = 4,98 \text{ шт.}$$

За графіком визначаємо коефіцієнт використання смуги:

$$\eta_n = 0,37$$

$$R_n \frac{14,56}{0,37} = 39,35 \text{ Ом}$$

Сумарне заземлення опору одиночних заземлювачів:

$$R_3 = \frac{R_l \cdot k}{n \cdot \eta}, \quad (5.4)$$

$$R_3 = \frac{24,85 \cdot 1,4}{5 \cdot 0,48} = 14,5 \text{ Ом}$$

Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_{заз} = \frac{39,35 \cdot 4,8}{39,35 + 4,8} = 3,58 \text{ Ом} \quad (5.5)$$

5.6 Пожежна безпека

За ступінем пожежної безпеки [50] приміщення цеху з термічної та хіміко-термічної обробки можна віднести до категорії Г. В даному цеху використовуються негорючі речовини та матеріали в гарячому, розпеченому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевого тепла.

В ряді випадків причиною займання паливних речовин можуть бути [50]:

- порушення технологічного процесу термічної обробки;
- несправність електрообладнання;
- попадання розплавленого або розжареного металу на горючі речовини;
- невиконання планового графіку ремонту, спрацювання та корозія обладнання.
- нагрівальні печі та установки, розпечені деталі та ін.

Для запобігання виникнення пожежі будівля цеху повинна бути зроблена з матеріалів I та II ступенів вогнестійкості. Для пожежної профілактики слід проводити наступні заходи [48-50]:

- організаційні – передбачають правильну експлуатацію обладнання, протипожежний інструктаж працюючих;
- технічні – дотримання протипожежних правил та норм при улаштуванні електродів та обладнання, опалення, вентиляції, освітлення, правильне розташування обладнання;

– режимного характеру – заборона паління в невстановлених місцях, проведення вогневих робіт в пожежонебезпечних приміщеннях.

В термічному цеху є первинні засоби пожежегасіння. Це ручні вогнегасники типу ОУ – 5, ОУ – 8 для гасіння під напругою, ОПС – 10 для гасіння невеликих вогнищ займання лужних металів. В цеху для гасіння осередків пожежі передбачені первісні засоби: ящик з піском, щит з протипожежним інвентарем, вогнегасники: хімічний ОХП-2А та вуглекислотний УО-2А; встановлені плавкі запобіжники в електричній мережі [48-50].

Всі робітники та службовці зобов'язані проходити спеціальну протипожежну підготовку, ціль якої - вивчення загальних правил пожежної безпеки на даному підприємстві, а також спеціальних правил, зв'язаних зі специфікою роботи цеху, ділянки, відділення [48-50].

Робітник зобов'язаний знати, дотримуватися й вимагати дотримання від інших правил протипожежного режиму в цеху й на робочому місці; виконувати тільки ту роботу, що доручена йому майстром або адміністрацією цеху; не допускати на робоче місце осіб, що не має відносини до виконуваних їм робіт; тримати в порядку й чистоті робоче місце, не допускаючи захаращення його деталями, відходами, сміттям; курити тільки в спеціально відведених місцях; про замічені порушення правил пожежної безпеки й несправностях у технологічному устаткуванні, які можуть викликати пожежа, негайно доводити до відома адміністрацію [48-50].

Робітникамі забороняється розкидати промаслене дрантя на робочому місці; допускати витік або проливання в робочих місць легко займистих і горючих рідин; здійснювати транспортування й зберігання легко займистих і горючих рідин у відкритій тарі; стирати й чистити спецодяг у таких рідинах; проводити зварювальні роботи поза спеціальними постами без дозволу адміністрації й узгодження з пожежною охороною; складувати горючі матеріали в протипожежних розривах, у приладів опалення, у нагрівальних печей й установок [48-50].

До початку роботи варто перевірити технологічне устаткування й переконатися в його справності; підготувати робоче місце, перевіривши правильність складування заготівель, наявність інструмента й пристосувань; не захарашувати ними прохід і підхід до робочого місця; не приступати до роботи в промасленому спецодязі; у пожаронебезпечних приміщеннях включити приточну витяжну вентиляцію; горючі матеріали, що легко займаються й горючі рідини мати на робочому місці в кількості не більше змінної потреби; дотримувати правил спільного зберігання речовин і матеріалів і норми їхніх одноразових потреб [48-50].

Під час роботи необхідно обтиральні матеріали зберігати в спеціальному металевому ящику; застосовувати переносні низьковольтні світильники, обладнані захисними скляними ковпаками й сітками; при всіх видах зварювання керуватися «Правилами пожежної безпеки при виробництві зварювальних й інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства» [48-50].

Під час роботи забороняється залишати без догляду включене устаткування, агрегати, що працюють нагрівальні печі; захарашувати проходи й робочі місця заготівлями, оброблюваними деталями, матеріалами; порушувати схему розміщення устаткування й тари; допускати забруднення встаткування й робочих місць відходами виробництва; застосовувати некалібровані вставки для захисту електромереж; встановлювати електронагрівальні прилади й печі на складах; застосовувати відкритий вогонь для виявлення витоків газу й відігрівати труби різних комунікацій; замазувати олійною фарбою й закернювати місця витоків газів і горючих рідин; мити підлоги й стіни легко займистими рідинами; використати пожежний інвентар не по призначенню [48-50].

По закінченні роботи варто забрати й упорядкувати робоче місце; скопчені обтиральні матеріалу вивезти в спеціально відведене місце; заготівлі, готову продукцію, інструмент і пристосування, а також горючі матеріали, легко займисті й горючі рідини забрати в спеціально відведені місця; по закінченні вогневих робіт ретельно оглянути сховані місця; відключити устаткування й

електроенергію; повідомити майстрові про всі несправності, виявлених при роботі [48-50].

5.7 Засоби індивідуального захисту

До засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) відносяться: спецодяг, спецвзуття й різні запобіжні пристосування, призначені для захисту від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів, таких як яскраве світло, окалина, пилю, масла, кислоти. Спецодяг, спецвзуття й запобіжні пристосування ЗІЗ видаються робітникам та службовцям безкоштовно, по діючих нормах, і вони зобов'язані під час роботи ними користуватися. По закінченні роботи не дозволяється виносити спецодяг, спецвзуття й індивідуальні засоби захисту за межі підприємства. Для їхнього зберігання обладнаються спеціальні гардеробні приміщення [52].

5.8 Термообробка з нагріванням струмами високої частоти

Термообробка деталей з індукційним нагріванням струмами високої частоти (СВЧ) повинна проводитись з дотриманням вимог, передбачених нижче.

Експлуатація генераторних установок СВЧ дозволяється за умови забезпечення на робочих місцях рівнів опромінення, що не перевищують допустимих, та за умови виключення опромінення осіб, які не обслуговують ці установки [50].

Приміщення, де розміщуються установки СВЧ, повинні бути обладнані загальнообмінною вентиляцією. При виділенні повітря робочої зони шкідливих речовин, що утворюються в процесі нагрівання деталі СВЧ, нагрівальний індуктор повинен бути обладнаний місцевим відсмоктуванням [50].

Всі установки СВЧ, які при роботі створюють електромагнітні поля високих частот, повинні допускатися в експлуатацію в такому виконанні, щоб розсіювання та втрати енергії були мінімальними. Установки СВЧ повинні бути обладнані блокованими огорожами, світловою сигналізацією [50].

Забороняється навмисне порушувати працездатність блокувальних пристроїв, а також працювати без заземлення корпусу генератора або індуктора.

Подача деталей до індуктора та зняття їх мають бути по можливості механізовані та автоматизовані. У приміщенні, де знаходяться електротермічні установки, на видному місці мають бути вивішені [50]:

- інструкція з експлуатації обладнання;
- інструкція з охорони праці;
- правила надання першої допомоги постраждалим від електричного струму

Огляд усіх вузлів обладнання необхідно проводити систематично за встановленим графіком. Вимірювання електромагнітних полів має проводитися один раз на рік. Результати вимірювань заносяться до журналу реєстрації або протоколу [50].

5.9 Техніка безпеки під час роботи з контрольованими атмосферами

Термічна обробка в контрольованих атмосферах набуває все більшого поширення. Найчастіше вони застосовуються для хіміко-термічної обробки і для усунення окалиноутворення та знеуглерожування при нагріванні. Це суттєво підвищує економічні показники виробництва: знижують втрати металу, покращується чистота та якість поверхні оброблюваних деталей, що дозволяє зменшити припуски на механічну обробку [50].

Оскільки більшість контрольованих атмосфер є вибухонебезпечними та токсичними, безпека роботи при їх використанні забезпечується герметичністю обладнання, в якому знаходиться контрольована атмосфера, строгим виконанням правил подачі контрольованої атмосфери в робочий простір нагрівальної печі з газопідготовчої установки. Поряд із загальною припливно-витяжною вентиляцією біля печей, що працюють з використанням контрольованої атмосфери, повинна застосовуватися місцева вентиляція [50].

Високий рівень вибуховості має також дисоційований аміак внаслідок значного вмісту в ньому водню, тому роботи з воднем і газовими сумішами, що містять водень, вимагають великої обережності [50].

Щоб уникнути небезпечного підвищення тиску в газопроводах, всі операції із запірно-регульовальною арматурою потрібно виконувати плавно. У приміщенні

газопідготовчої установки категорично забороняється куріння та перебування сторонніх осіб. Не дозволяється робота на установці за наявності несправностей [50].

У разі аварійної ситуації необхідно негайно припинити подачу рідкого аміаку і відключити електроустаткування установки. Аварійна зупинка проводиться при виявленні витoku газу, розриві газопроводу, виході з ладу запобіжних клапанів запірної та контрольно-вимірjuвальної апаратури, припинення подачі електроенергії, виникнення пожежі, підвищення або зниження температури та тиску порівняно з встановленими межами [50].

Для безокислювального нагріву при загартуванні вуглецевих та легованих сталей, а також для хіміко-термічної обробки використовуються ендo- та екзогазові атмосфери. Пуск газу в ендoустановку проводиться тільки після досягнення в генераторі температури 1050 °С, а в сіроочиснику - 350 °С. Перевіряється стан і робота ротометрів, на яких мають бути підняті поплавці, що вказують на подачу газу та повітря. Вологість газу постійно контролюється за вологомірoм. Однією з основних вимог при приготуванні та використанні контрольованих атмосфер є дотримання правил продування, під яким розуміють заміну одного газу іншим у печі або якомусь іншому обсязі [50].

5.10 Охорона навколишнього середовища

При проектуванні виробничих процесів слід передбачати [47-50, 53]:

- заміну шкідливих речовин у виробництві нешкідливими;
- процесів і технологічних операцій, пов'язаних з виникненням шкідливих факторів, процесами або операціями, при яких відсутній або зменшується їх інтенсивність;
- герметизацію і максимальне ущільнення з'єднань і стиків у технологічному обладнанні для запобігання виділення шкідливих речовин у процесі виробництва;
- рекуперацію шкідливих речовин та очистку від них технологічних викидів;

- використання процесів, при яких максимально скорочується кількість стічних вод.

При термічній обробці в атмосферу через систему вентиляції можуть викидатися пари масел, окису вуглецю, аміаку, ціаністого водню, а також пилю. Електротермічне обладнання споживає воду для охолодження, і в стічних водах можуть знаходитися шкідливі речовини. При механічній обробці матеріалів для охолодження обладнання та інструменту, промивки деталей, санітарно-гігієнічної обробки приміщень широко використовується вода. Стічні води в цих випадках можуть бути забруднені мінеральними оліями, милами, пилом [50, 53].

Структура і склад стічних вод промислового підприємства багато в чому визначається видом застосовуваних технологічних процесів. Контроль складу стічних вод полягає у вимірюванні [50, 53]:

- органолептичних показників води, що скидається (колір, запах);
- концентрації водневих іонів; хімічного споживання кисню;
- кількості розчиненого у воді кисню і концентрації шкідливих речовин.

При оцінці забруднення середовища газоподібними і пароподібними викидами широко використовуються газоаналізатори, що дозволяють здійснювати як миттєвий, так і безперервний контроль, шкідливих домішок, що надходять в атмосферу. Найбільш часто застосовуються газоаналізатори, які використовують властивості порошку-поглинача змінювати своє забарвлення при проходженні через нього газової суміші, що містить шкідливу речовину. У разі необхідності безперервного контролю за вмістом певного компонента в газовому середовищі використовуються оптичні, електричні, хроматографічних, лазерні та інші аналізатори [50, 53].

Для оцінки величин промислових шумів використовуються спеціальні прилади та системи: шумоміри, спектрометри, детектори. Вимірювання шуму повинно проводитися на висоті 1,2 м від поверхні землі у точках, розташованих не ближче 2 м від стін будівель [50, 53].

Висновки

В усіх цехах з термічної та хіміко-термічної обробки повинні виконуватися нормативи безпеки життєдіяльності і використовуватися санітарно-гігієнічні засоби та лікувально-профілактичні заходи захисту людини від несприятливого впливу пилу, нагрівання мікроклімату. При роботі з пилом і хімічними речовинами до таких засобів відносяться використання засобів індивідуального захисту.

У комплекс санітарно-побутових приміщень повинні бути включені приміщення для зберігання і перезарядки респіраторів, для очищення спецодягу.

З заходів особистої профілактики перегрівання істотне значення має раціональний питний режим: в цехах встановлюються автомати з газованою водою з додаванням деякої кількості солей калію і вітамінів.

У профілактиці перегрівів важливу роль відіграє спецодяг з бавовняних, суконних і штапельних тканин.

До лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на скорочення захворювань працюючих в умовах несприятливого повітряного середовища на виробництві, відносяться: скорочення тривалості робочого дня, додаткові перерви, періодичні медичні огляди, наявність кімнат відпочинку.

При оцінці забруднення середовища газоподібними і пароподібними викидами широко використовуються газоаналізатори, що дозволяють здійснювати як миттєвий, так і безперервний контроль, шкідливих домішок, що надходять в атмосферу.

Головним напрямком екологічного та соціального розвитку є підвищення ефективності заходів з охорони природи, розвиток комбінованих виробництв, які виключають повне і комплексне використання природних ресурсів, сировини та матеріалів, які викликають або значно знижують шкідливий вплив на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі магістра було проведено дослідження умов протікання процесів формування покриттів при нітроцементації в пастах з нагрівом струмами високої частоти на фазовий і хімічний склад, структуру і властивості сталі 25ХГТ та порівняння даного процесу з традиційною газовою нітроцементацією.

2. Нітроцементація в пастах з нагрівом струмами високої частоти є одним із прогресивних і економічних методів хіміко-термічної обробки. Даний процес дозволяє: істотно зменшити деформації під час нагріву і охолодження; усунути окислення і зневуглицювання; зменшити витрати енергії на нагрів: шар, що нагрівається, складає невелику частину від маси деталі; використовувати більш дешеві марки сталі; забезпечити властивості осердя незалежно від властивостей твердого шару.

3. На відміну від газової нітроцементації, нітроцементація в пастах з нагріванням струмами високої частоти є ефективним процесом. Підтвердженням цього є величина мікротвердості нітроцементованого шару. При газовій нітроцементації мікротвердість поверхні становить $H_{\mu} 690 \text{ кгс/мм}^2$, а при нітроцементації в пастах з нагріванням струмами високої частоти – $H_{\mu} 780 \text{ кгс/мм}^2$. Отримані результати свідчать про те, що нітроцементований шар після пропонованої поверхневої обробки має більшу твердість, а отже і більшу зносостійкість, що є дуже важливим показником для виробів зі сталі 25ХГТ.

4. Отриманими результатами визначений оптимальний склад пасти: жовта кров'яна сіль 20 %; вугілля 70 %; вуглекислий барій 10 %; етил силікати - 5-10 %, при товщині пасти - 0,5 мм і часу витримки 1,5 хвилини. Було отримано шар глибиною 0,5 мм.

5. Нітроцементація в пастах із нагріванням струмами високої частоти – короткочасний процес. Тому нагрівання навіть до дуже високої температури не призводить до зростання зерна у сталі.

6. Нітроцементация в пастах з нагрівом токами високої частоти: підвищує мікротвердість та поліпшує механічні властивості сталі 25ХГТ, особливо контактну міцність та також зносостійкість, порівняно з газовою нітроцементациєю, оскільки забезпечує отримання структури з дрібнодисперсним мартенситом; скорочує процес проведення ХТО, економить електроенергію, час та кошти.

7. Встановлено, що зносостійкість шару після нітроцементациї з нагріванням струмами високої частоти вище, ніж у нітроцементованого шару, отриманого при газовій нітроцементациї, на 20-30 %. Зношення шару для сталі 25ХГТ після нітроцементациї в пастах з нагріванням СВЧ на 25 % менше, ніж нітроцементованого шару.

8. Поточні витрати підприємства на зміцнення деталей зі сталі 25ХГТ, які піддаються газовій нітроцементациї, значно більші на відміну від зміцнення деталей зі сталі 25ХГТ, що піддаються нітроцементациї у пастах із нагріванням струмами високої частоти.

9. В усіх цехах з термічної та хіміко-термічної обробки повинні виконуватися нормативи безпеки життєдіяльності і використовуватися санітарно-гігієнічні засоби та лікувально-профілактичні заходи захисту людини від несприятливого впливу пилу, нагрівання мікроклімату. При роботі з пилом і хімічними речовинами до таких засобів відносяться використання засобів індивідуального захисту. Головним напрямком екологічного та соціального розвитку є підвищення ефективності заходів з охорони природи, розвиток комбінованих виробництв, які виключають повне і комплексне використання природних ресурсів, сировини та матеріалів, які викликають або значно знижують шкідливий вплив на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Liu W.; Yang X.; Wan Z.; Xia G.; Li D.; Wang S. Surface strengthening technology for mechanical parts. *Surface Review and Letters* 2021, 28, 2030006.
2. Czerwinski F. Thermochemical Treatment of Metals. In *Heat Treatment - Conventional and Novel Applications*; Czerwinski, F. Eds.; IntechOpen: London, UK, 2012.
3. Серода Б.П., Калініна Н. Є., Кругляк І. В. Поверхнєве зміцнення матеріалів: монографія. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2004. 230 с.
4. Kolawole M.Y.; Awoyemi E.A.; Abiona O.M. Potentials of date-seed/snail shells as a carburizer for enhanced mechanical properties of mild-steel. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*. 2021, 8, C1–C6.
5. Ivanov I.V.; Mohylenets M.V.; Dumenko K.A.; Kryvchyk L.; Khokhlova T.S.; Pinchuk V.L. Carbonitration of a tool for pressing stainless steel pipes. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*. 2020, 7, C17–C21.
6. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Kirik G.V., Konoplianchenko Ye.V., Tarelnyk N.V., Mikulina, M.O. Cementation of Steel Details by Electrospark Alloying. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2020, 42(5), 655–667.
7. Somers M.A.J., Christiansen T.L. Nitriding of Steels. In *Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys*; Caballero, F.G. Eds., Elsevier, 2022.
8. Schneider R.S.E. Austenitic nitriding and nitrocarburizing of steels. In *Thermochemical Surface Engineering of Steels*; Mittemeijer, E.J., Somers, M.A.J. Eds., Woodhead Publishing, 2015.
9. Anggraini L., Adikusumo M., Dahar R.A. Microstructure Change in ASSAB 760 Steel during Cementation and Quenching Process. *MSF* 2016, 872, 50–4.
10. Ayadi S., Hadji A. Effect of Heat Treatments on the Microstructure and Wear Resistance of a Modified Hadfield Steel. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2019, 41(5), 607–620.
11. Breki A.D., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G., Starikov N.E., Provotorov D.A., Sergeyev N.N., Honelidze D.M. On friction of metallic materials with consideration for

superplastic i typheno menon. *Inorganic Materials: pplied Research*. 2017. Т. 8. No 1. P. 126-129.

12. Anokhin A.A. Some advanced technologies for restoring the surface quality of parts. *East European Journal of Advanced Technologies*. Kharkiv. 2003. No 5. P. 10-16.

13. Говорун Т.П., Сметанін Р.С., Сітало С.О., Коваленко Н.Г. Прогресивні методи поверхневого зміцнення валів-шестерен. Системи розроблення та поставлення продукції на виробництво: матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 17-20 травня 2016 р. Ред.кол.: О.Г. Гусак, К.О. Дядюра. -Суми : СумДУ, 2016. С. 208-211.

14. Shu-Hung Yeh. Effects of Gas Nitriding on the Mechanical and Corrosion Properties of SACM 645 Steel [Текст] / Shu-Hung Yeh, Liu-Ho Chiu, Heng Chang // *Engineering, Scientific Research Publishing*. – 2011. – Т. 9(3). – С. 942-948.

15. Zhang J.W.; Lu L.T.; Shiozawa K.; Zhou W.N.; Zhang W.H. Effect of nitrocarburizing and post-oxidation on fatigue behavior of 35CrMo alloy steel in very high cycle fatigue regime. *International Journal of Fatigue* .2011, 33(7), 880–886.

16. Veiga A.; Luno-Bilbao C.; Sainz S.; Castro F. Effect of low-pressure carburizing and plasma nitriding on mechanical properties and fatigue endurance limits of low alloy sintered steels. *Powder Metallurgy* .2020, 63(2), 75–79.

17. Krmela J.; Hovorun T.; Berladir K.; Artyukhov A.; Kasian S. Influence of nitrocarburizing on increasing the service life of elastic elements of direct flow valves. *Manufacturing Technology*. 2021, 21(5), 647–656.

18. Berladir K., Hatala M., Hovorun T., Pavlenko I, Ivanov V, Botko F., Gusak O. Impact of Nitrocarburizing on Hardening of Reciprocating Compressor’s Valves // *Coatings*. – Basel, Switzerland: MDPI, 2022. – Vol. 12, No. 5. – P. 574.

19. Berladir K., Hovorun T., Gusak O. Strengthening of the NKV Type Centrifugal Pump’s Shaft by Chemical-Thermocycling Treatment. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Lviv, Ukraine, 8-11 June 2021.

20. Спосіб нітроцементації деталей з конструкційних та інструментальних сталей: патент України No2592339: заявл. 2015-03-06, опуб. 20.07.2016. Бюл. No20. 2016.

21. Колмиков Д.В., Гончаров А.Н., Комбіновані методи зміцнення // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 6 (24), 2012. С. 46-50.

22. Шаповалова Ю.Д., Романова Т.І., Вплив режимів нітроцементації на циклічну тріщиностійність хромистих сталей // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 6 (24), 2012. С. 51-55.

23. Костин Н. А., Трусова Е. В. Втомна міцність покращеної сталі 30ХГТ після високо- і низькотемпературної нітроцементації. Електронний науковий журнал. 2016. № 4 (12). С. 56-63.

24. Костик К. О., Костик В. О., Долженко А. С., Нікіфорова С. В. Метод нітроцементації легованої сталі, Вісник НТУ «ХП», Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях", 2015, №14 (1123), С. 35-41.

25. Костик К. О., Костик В. О., Долженко А. С. Поверхнєве зміцнення деталей автомашин та тракторів методом низькотемпературної нітроцементації в порошковому середовищі / Автомобільний транспорт. – 2013. – Вип. 33. – С. 115 - 119.

26. Пікалов С.В. Відновлення автомобільних деталей наплавкою з наступною нітроцементацією // Відомості південно-західного державного університету, Серія: Техніка та технології, №1, 2014, С. 69-71.

27. Gadalov V.N., Filonovich A.V., Kovalev S.V., Ignatenko N.M., Vornacheva I.V. Increase of endurance and working capacity of structural steel by additional chemical-thermal treatment using nitrogenous-carbonic carburizers // Bulletin of Berdyansk State Technical University, № 1(54), 2017, P. 25-32.

28. Домбровський Ю.М., Степанов М.С. Нові аспекти хіміко-термічної обробки металів у порошкових середовищах // Вісник ДДТУ. 2021. Т. 11, № 8 (59), вип. 1, С. 1217 – 1221.

29. Кирик В.Г., Жарков П.Є., Тарельник В.Б., Коноплянченко О.В., Волошин І.Є. Новий спосіб нітроцементації сталевих деталей Компресорне та енергетичне машинобудування. 2017. №3 (49). З. 34 –37.

30. Kostin N.A, Kolmikov V.I, Trusova E.V, Ermakova N.V. Sposob nitrocementacii iz konstrukcionnih i instrumentalnih staley: Patent № 2600612 ot 27.10. 2016.

31. Bakhracheva Y., Increase of steel surface operational properties by combined hardening // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1050, Mechanical Science and Technology Update 2018, Ser. 1050 012006.

32. Kolmikov V.I. Cianirovanie instrumentalnih staley v ekologicheski bezopasnom karbyurizatore [Cyanidation of tool steels in an environmentally friendly carburetor] / V.I. Kolmikov, R.A. Kovinev, V.M. Pereverzev, i dr. // Zashita okrujayuschei sredi v neftegazovom komplekse [Environmental protection in the oil and gas complex]. – М.: ОАО «VNIIOENG». 2016. – № 12. – P. 108-111.

33. Руденко Л. Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л. Ф. Руденко, Т.П. Говорун – Суми: СумДУ, 2012. – 171 с.

34. Говорун Т. П. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях): навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 163 с.

35. Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з теми "Визначення твердості матеріалів" із дисципліни "Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів": для студ. спец. 132 "Матеріалознавство" усіх форм навчання / А. І. Дегула, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. - Суми : СумДУ, 2022. - 23 с.

36. Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з теми "Технологічні випробування металів" із дисципліни "Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів": для студ. спец. 132 "Матеріалознавство" усіх форм навчання / А. І. Дегула, Т. П. Говорун. - Суми : СумДУ, 2022. - 16 с.

37. Pantazopoulos G.; Psyllaki P. An overview on the tribological behaviour of nitro-carburised steels for various industrial applications. *Tribology in Industry* 2015, 37(3), 299–308.

38. Grosch J. 4 - Fatigue Resistance of Carburized and Nitrided Steels. In *Thermochemical Surface Engineering of Steels*; Eric J. Mittemeijer, Marcel A.J. Somers, Eds.; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2015; pp. 209–240, doi: 10.1533/9780857096524.2.209.

39. Говорун, Т.П. Нітроцементация в пастах з нагріванням струмами високої частоти як один з найбільш прогресивних і економічних методів обробки для валів-шестерень [Текст] / Т.П. Говорун, А.М. Татарченко // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 17-20 квітня 2012 р.: у 3-х ч. / Ред.кол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2012. - Ч.1. - С.124.

40. Вуєць О.Є. Вплив термообробки з різними швидкостями нагрівання на субструктурні характеристики сталі, Вісник ХНАДУ, № 64, 2014. С. 37-40.

41. Погрібний М.А., Вуєць О.Є. Дослідження впливу відпуску з різними швидкостями нагрівання на механічні властивості сталі. Вісник ХНАДУ. № 67. 2014. С. 58–62.

42. Dvoryk V.I., Labunets V.F., Borak K.V., Svyryd M.M., Buchko I.O. Wear resistance of 65Г steel, strengthened by induction heating, industry machinery building. 2019. Vol 30 (69), Part 2, № 5. P. 1–5.

43. Багацька К. В. Фінансовий аналіз / К. В. Багацька, Т. А. Говорушко, О. О. Шеремет. - К.: Видавничий дім «АртЕк», 2014. – 320 с.

44. Сук Л.К. Фінансовий облік: Навчальний посібник / Л.К. Сук, П.Л. Сук – третє видання, перероблене і доповнене – К.: Знання, 2016. – 663 с.

45. Собівартість продукції в промисловості [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: <http://www.visnuk.com.ua/uk/publication/100003964-chastina-1-sobivartist-produktsiyi-v-promislovosti->

46. Собівартість продукції. Ціна. Прибуток та рентабельність [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ereport.ua/articles/firms/cost.htm>.

47. Геврик. Є.О. Гігієна праці на виробництві: навч. посіб. для студентів вищих навч. Закладів / Є.О. Геврик, Н.П. Пешко. – К. : Ельга Ніка Центр, 2014. – 276 с.

48. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудування: навчальний посібник / І. П. Пістун, Р. Є. Стець, І. О. Трунова. – Суми : Університетська книга, 2017. – 556 с.

49. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України I-IV рівнів акредитації /За ред. Є. П. Желібо і В. М. Пічі. – Київ: Каравела; Львів: Новий Світ-2000, 2001. – 320 с.

50. Пістун І.П. Охорона праці при виконанні зварювальних і термічних робіт: навчальний посібник / І.П Пістун., Р.А. Яцюк, І.О. Трунова. – Львів: УАД, 2021. – 446 с.

51. НПАОП 28.5-1.02-07 – Правила охорони праці при термічній обробці металів.

52. НПАОП 29.0-3.02-06 — Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам машинобудування та металообробної промисловості, затверджено наказом МНС України від 21.02.2006 № 89, зареєстровано в Мін'юсті України 10.03.2016 р. за № 250/12124

53. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів / За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка. – К. : Каравела, 2003. – 408 с.