

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Вдосконалення технологічного процесу термічної
обробки шестерень редуктора / Improvement of the
technological process of heat treatment of gear reducer
gears**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Матеріалознавство»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПММ-21
Швайко Владислав Іванович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Мисковець Сергій Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«04» 12 2024 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:
Мельничук Микода Дмитрович

(підпис)

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій
Кафедра матеріалознавства
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Мельничук М.Д.

“ 02 ” 09 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Швайку Владиславу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення технологічного процесу термічної обробки шестерень редуктора

керівник роботи Мисковець Сергій Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 23 ” 10 2024 року № 407/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи « 03 » 12 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи креслення деталей багровий технологічний процес

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Всіх, I розділ технічне обґрунтування, II розділ технологічна частина, III розділ конструкторська частина IV розділ з'ясування запитань, висновки.

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

1. Агрегат для мікроелементної та гуртвального - 1 л. ф. А1

2. Фільм олівний - 1 л. ф. А1

3. Машина лійна - 1 л. ф. А1

4. Відпусна шівка м'яка кіт - 1 л. ф. А1

5. Гідравлічний шівка - 1 л. ф. А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Н.контр.р.с.	К. Т. Н. Мисковець С. В.	02.09.2024	03.09.2024

7. Дата видачі завдання « 02 » 09 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Всіх, технічне обґрунтування технологічна частина	15.10.2024	виконано
2	конструкторська частина	05.11.2024	виконано
3	Дослідження частини, висновки	26.11.2024	виконано

Здобувач вищої освіти

Міхайло В. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

Мисковець С. В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Швайко Владислав Іванович. Вдосконалення технологічного процесу термічної обробки шестерень редуктора. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

В даній роботі запропоновано вдосконалення технологічного процесу термічної обробки шестерень редуктора.

Проведені технологічні розрахунки часу нагріву і витримки шестерень редуктора зі сталі 20ХНМ.

Підібрано необхідне технологічне обладнання для реалізації технологічного процесу.

Спроектовано і проведено необхідні розрахунки допоміжного оснащення: фільтра для гартувальної оливи і гідравлічного штовхача.

Магістерська робота складається з графічної частини та пояснювальної записки. Пояснювальна записка містить 54 сторінку формату А4, 16 рисунків, 7 таблиць та 20 літературних джерела. Графічна частина містить 12 листів формату А4 у додатку А.

Ключові слова: шестерня, термічна обробка, нітроцементация, цементация, твердість, тара, піч.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Швайко</i>				<i>Вдосконалення технологічного процесу термічної обробки шестерень редуктора</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Мисковець</i>						<i>3</i>	<i>54</i>
<i>Реценз.</i>						<i>ЛНТУ, каф. матеріалознавства, гр. ПММ-21</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Мисковець</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Мельничук</i>							

ANNOTATION

Shvaiko Vladislav Ivanovich. Improving the technological process of heat treatment of gearbox gears. Manuscript.

Master's qualification work OP "Materials Science" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University.

Lutsk, 2024.

This work proposes improving of the technological process of heat treatment of gearbox gears.

Technological calculations of the heating time and holding time of gearbox gears made of 20KhNM steel were carried out.

The necessary technological equipment was selected for the implementation of the technological process.

The necessary calculations of auxiliary equipment were designed and carried out: a filter for quenching oil and a hydraulic pusher.

The master's thesis consists of a graphic part and an explanatory note. The explanatory note contains 54 pages of A4 format, 16 figures, 7 tables and 20 literary sources. The graphic part contains 12 sheets of A4 format in application A.

Keywords: gear, heat treatment, nitrocarburization, carburization, hardness, container, furnace.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	8
1.1 Вибір груп деталей і умов їх роботи	8
1.2.1. Вибір марки сталі для шестерень редукторів.....	8
1.2.2. Опис вибраної марки сталі.....	10
1.2.3.Формування структури деталей на етапі маршрутної технології виготовлення.....	12
1.2.4. Опис кінцевої структури групи деталей і вплив її на надійність роботи..	13
1.3. Склад і структура деталей II групи.	15
1.4. Розробка технологічних процесів деталей	17
1.5. Мета і задачі дипломної роботи	18
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1. Обґрунтуванням вибору технологічного процесу для кожної групи деталей	19
2.1.1. Обґрунтування технологічного процесу виготовлення шестерень колісного редуктора (для деталей I групи).....	19
2.1.2. Обґрунтування технологічного процесу деталей II групи.....	21
2.2. Опис обраних технологічних процесів термічної обробки.	22
2.2.1. Нітроцементация	22
2.2.2. Загартування	25
2.2.3. Миття	26
2.2.4. Відпуск	27
2.2.5. Зміцнення	27
2.3. Розробка технологічних параметрів для шестерень редуктора	29
2.3.1. Розрахунок часу нагріву шестерень	30
2.3.2. Час витримки	33
2.4. Маршрутна технологія і її опис	34

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	39
3.1. Обладнання для хімікотермічної обробки шестерень.....	39
3.1.1. Агрегат для нітроцементації та гартування.....	39
3.1.2. Фільтр для очищення оливи.....	40
3.2. Мийна машина.....	42
3.3. Відпускна піч	43
3.3.1. Штовхач	44
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	46
4.1. Дослідження структури і параметрів термообробки шестерні колісного редуктора.....	46
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Однією з основних задач у сучасному машинобудуванні є широке технічне переоснащення виробництва легкових автомобілів і інших машин з метою різкого підвищення якості продукції та підвищення ресурсу автомобілів.

Велике значення для розв'язку даної задачі має проблема підвищення довговічності деталей автомобілів і іншої техніки поряд із зменшенням питомої матеріалоемності і витрат запасних частин.

Застосування шахтних печей для цементації має ряд вад, пов'язаних, в першу чергу, з тим, що насичений вуглецем шар у нижній частині печі значно менший ніж у верхній і тому з метою забезпечення мінімально необхідної товщини шару йдуть на продовження тривалості хіміко-термічної обробки, тому виникає необхідність у введенні нових процесів. Широке застосування хіміко-термічної обробки в машинобудуванні обумовлено можливістю ефективного підвищення якості і надійності машин і комплектуючих, збільшення терміну служби і підвищення технічних характеристик, що призведе до поліпшення якості роботи на таких машинах.

В основі термічної обробки металів лежать процеси нагрівання й охолодження. Тому печі, нагрівальні й охолоджувальні пристрої складають основне устаткування термічних цехів.

Застосування автоматизованих печей, поточних ліній і агрегатів дозволяє підвищити ефективність виробництва, збільшити продуктивність праці й устаткування, досягти стабільності і точності виконання технологічних процесів, скоротити кількість робітників і необхідних площ, спростити планування виробництва.

Безупинне удосконалювання технологічних процесів, устаткування і впровадження найбільш прогресивних методів виробництва - характерні риси сучасної промисловості.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЛЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1 Вибір груп деталей і умов їх роботи

Якщо розглядати деталі, які піддаються хіміко-термообробці (два типи передніх та задніх шестерень колісних редукторів автомобіля), то необхідно розглянути необхідність поділу їх на дві групи.

Обидві шестерні працюють в умовах важко навантаженого стану при впливі інтенсивної деформації, тривалого тертя сполучених поверхонь, високих контактних напружень, при підвищених температурах на поверхнях тертя, деформації поверхневих прошарків (згин, удар), тому ці деталі повинні мати високу поверхневу твердість зубів і високу ударну в'язкість серцевини, а також здатність протистояти втомному руйнуванню.

З врахуванням вищенаведеного, приходимо до висновку, що обидві шестерні перцюють в однакових умовах навантаження і тому повинні бути виконані з однакового матеріалу.

Для автомобілів з повним приводом є необхідність рівності передатного відношення, що забезпечується встановленням однакових пар шестерень у всіх чотирьох колісних редукторах.

Пара циліндричних шестерень колісного редуктора мають подібний вигляд, хоча і відрізняються розмірами. Тому приймаємо для виготовлення всіх шестерень один і той же матеріал. Таким чином, з точки зору технології хіміко-термічної обробки приймаємо одну групу деталей.

1.2.1. Вибір марки сталі для шестерень редукторів

У сучасному машинобудуванні в зв'язку з підвищеними вимогами до машин особливе значення має вибір марки сталі для виготовлення деталей валів

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та шестерень. Основними критеріями, що впливають на вибір марки сталі є умови роботи деталей, її габаритні розміри, характер діючих навантажень, її технологічні властивості, а також економічна доцільність застосування даної марки сталі [1-4]. Крім того, необхідно врахувати можливість застосування прогресивної технології механічної і термічної обробки.

Для того щоб задовольнити вимоги, що ставляться перед даною групою деталей: висока поверхнева міцність, зносостійкість і в'язка серцевина, необхідно вибрати сталь що піддається ХТО.

Ці вимоги задовольняють сталі 18ХГТ, 20ХНМ, 20ХГНР із цементациєю на глибину 0,9...1,4 мм, або нітроцементациєю на глибину 0,6...1,2 мм [5].

Сталь 18ХГТ більш дешева, добре обробляється при механічній і термічній обробці. Проте після термообробки сталі 18ХГТ серцевина має більш низьку твердість і міцність, ніж у сталей 20ХНМ і 20ХГНР, що призводить до низьких експлуатаційних властивостей.

Сталь 20ХНМ добре обробляється різанням, сталь дрібнозерниста, а також для сталі 20ХНМ припускається прошарок меншої глибини, що призводить до скорочення процесу й підвищується продуктивність праці.

Хромонікельмолібденова сталь 20ХНМ використовується для високонапружених конічних шестерень, які піддаються цементациї чи нітроцементациї при високих механічних характеристиках та зносостійкості [6,7].

Сталь 20ХГНР добре обробляється різанням, сталь наслідково дрібнозерниста, а також для сталі 20ХНМ припускається прошарок нітроцементованого шару меншої глибини, що призводить до скорочення тривалості процесу й підвищується продуктивність праці [8].

Хромонікельмолібденова сталь 20ХНМ використовується для високонапружених конічних шестерень, які піддаються цементациї чи нітроцементациї при високих механічних характеристиках та зносостійкості

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З вище розглянутих марок для виготовлення деталей вибираємо сталь 20ХНМ.

1.2.2. Опис вибраної марки сталі

Сталь 20ХНМ містить 0,18...0,23% С, що сприяє одержанню після термообробки твердого поверхневого прошарку і в'язкої серцевини.

Сталь легована хромом, нікелем, молібденом. Відсотковий вміст цих елементів представлено в таблиці 1.1 [9].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 20ХНМ.

Склад елементів, %						Не більше	
С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S
0,18-0,23	0,17-0,37	0,8-0,1	0,8-1,1	1,0-1,4	0,15-0,25	0,035	0,035

Нікель, хром та молібден підвищують прогартовуваність, причому такий вміст хрому не призводить до підвищення порогу холодноламкості, що має велике значення, оскільки передбачається широко використовувати автомобілі в зимовий період в умовах бездоріжжя поліського та карпатського регіонів. Нікель, крім того, ще підвищує опір крихкому руйнуванню, збільшуючи пластичність та в'язкість, зменшуючи чутливість до концентраторів напружень. Хром, молібден та кремній найбільш суттєво підвищують міцність сталі, зміцнюючи феритну основу (в тому числі і за рахунок збереження значної густини дислокацій, перешкоджаючи їх переміщенню та анігелюванню при високих температурах). Молібден вводиться також з метою подавлення зворотної відпускнуої крихкості, що особливо важливо для крупних виробів, якими є шестерні. Молібден значно покращує механічні властивості сталі після нітроцементациї і підвищує твердість та прогартовуваність цементованого шару (як складової частини при нітроцементациї), оскільки сталі, що містять молібден,

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не схильні до внутрішнього окислення при взаємодії з газовим карбюратором [10].

Марганець впливає незначно, тоді як хром дуже помітно. Це пов'язано з тим, що при відпустці процеси мають дифузійний характер для більшості легуючих елементів.

Механічні властивості сталі після нітроцементзації, загартування і відпуску представлені в таблиці 1.2 [9].

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 20ХНМ

Режим ТО	σ_T	σ_B	δ	ψ	a_n	НВ
	МПа		%			Не більше
Нітроцементзація 870 ⁰	1100	1250	10	45	8	205-215

Критичні точки сталі 20ХНМ приведені в таблиці 1.3 [9].

Таблиця 1.3

A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	A_{r3}
765 ⁰ С	820 ⁰ С	640 ⁰ С	680 ⁰ С

Сталь 20ХНМ має гарну прогартовуваність. Смуга прогартовуваності подана на рисунку 1.1 [11].

Прогартовуваність забезпечує втомну міцність у робочих перетинах деталей і отже надійність в експлуатації.

Серцевина нітроцементованих деталей є своєрідною подушкою на якому лежить насичений прошарок. Висока міцність серцевини і її спроможність протистояти навантаженню стиснення, позитивно позначається на роботі шестерень і валів в умовах високих контактних навантажень.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

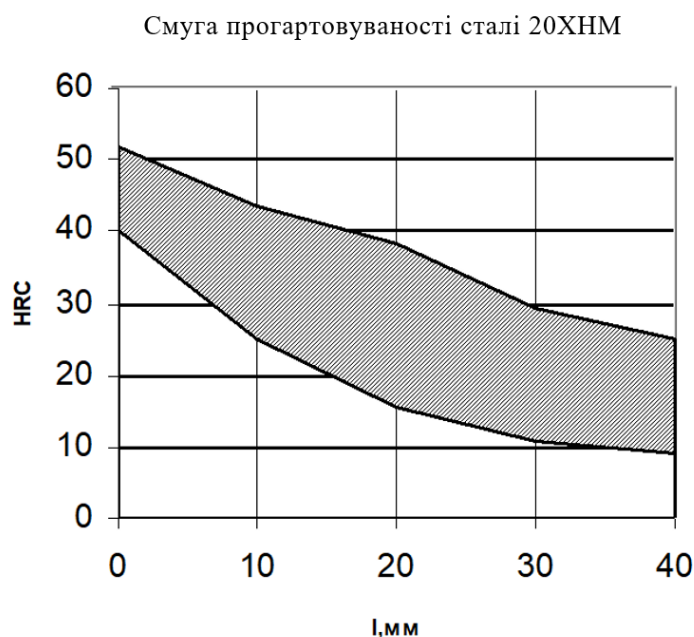


Рисунок 1.1 – Залежність твердості від відстані до краю заготовки при гартуванні

Сталь 20ХНМ має підвищену умовну межу міцності, більш високу контактну втомну міцність нітроцементованого прошарку, дрібнозернисту структуру.

Технологічні властивості сталі 20ХНМ подані в таблиці 1.4 [9].

Таблиця 1.4

Марка сталі	Температура кування, °С		флокеночутливість	Відпускна крихкість
	початок	кінець		
20ХНМ	1210	875	чутлива	не схильна

1.2.3.Формування структури деталей на етапі маршрутної технології виготовлення

Формування структури деталей

На завод сталь надходить у виді сортового прокату відповідно ДСТУ 7806:2015 із ферито-перлітною структурою.

Штамування при температурі 1220...850⁰С сприяє збільшенню зерна і різнозернистості, підвищенню твердості, збільшенню внутрішніх напружень [10].

Для одержання дрібнозернистої стабільної структури, зменшення напружень у сталі, а також для підвищення пластичності й ударної в'язкості, зниження міцності, застосовують нормалізацію. Структура ферит-перліт. Твердість 169...255 НВ.

Після попередньої механічної обробки деталі піддаються нітроцементації з безпосереднім загартуванням в оливі і низькотемпературному відпуску.

Структура поверхні після нітроцементації з безпосереднім загартуванням – мартенсит + нітрокарбіди й аустеніт залишковий[11,12].

Твердість 59...63 НРС. При цьому структура і властивості сталі не стабільні, схильні до постійних змін. Низькотемпературний відпуск знімає внутрішні напруги, голчаста мартенситна структура залишається, але голки менш різкі. Структура: мартенсит відпуску.

У результаті шротоструменевої обробки відбувається перетворення аустеніту залишкового в мартенсит, ріст напружень, що знижуються, на поверхні і як наслідок, додаткове підвищення втомної міцності [7].

1.2.4. Опис кінцевої структури групи деталей і вплив її на надійність роботи

Структура, що забезпечує запропоновані до деталей вимоги, повинна бути дрібнозернистою. Розмір зерна повинний відповідати 8...9 балу за шкалою мікроструктури[5].

Сумарний вміст вуглецю й азоту в нітроцементованому прошарку повинен знаходитися в межах 1,005...1,25%.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура поверхневого прошарку повинна складатися з мартенситу відпуску і карбідів. Знаходження аустеніту залишкового не повинно перевищувати 10%.

Структура серцевини – маловуглецевий мартенсит або верхній бейніт.

Твердість поверхні 59...64HRC_e.

Вміст в сталі 0,18...0,23% С забезпечує підвищену прогартовуваність і міцність серцевини зуба, що є основою для прошарку нітроцементациї.

Збільшення вмісту вуглецю в серцевині впливає на властивості нітроцементованої сталі подвійно: з однієї сторони зростає межа текучості прошарку, що призводить до збільшення міцності згину деталей, а з іншої сторони падає межа стискальних напружень у дифузійному прошарку.

Статична міцність при згині нітроцементованих зразків із збільшенням вмісту вуглецю до 0,23% залишається постійною, а при подальшому рості – зменшується. Така ж залежність спостерігається і для ударної в'язкості.

При нітроцементациї хром сприяє засвоєнню вуглецю в поверхневому прошарку деталі, а з іншої сторони зменшується дифузія вуглецю в глиб металу, унаслідок зміни активності вуглецю в сталі під дією хрому. Будучи елементом, що є карбідоутворювачем, хром дає карбіди типу (FeCr₃), який дещо стримує ріст зерна аустеніту при нагріванні і сприяє одержанню високої і рівномірної твердості і зносостійкості. Хром понижує критичну швидкість загартування, сприяє одержанню мартенситної структури при охолодженні і збільшує прогартовуваність сталі. Зі збільшенням кількості хрому, температура мартенситного перетворення знижується.

Нікель значно підвищує стійкість переохолодженого аустеніту, особливо при одночасному введенні в сталь хрому.

Молібден та нікель також значно знижують критичну швидкість гартування.

Кремній зменшує критичну швидкість загартування, різко підвищує прогартовуваність і межу текучості сталі.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фосфор сприяє росту зерна аустеніту і нерівномірного розподілу вуглецю, підвищує твердість і межу міцності, зменшує пластичність і ударну в'язкість. При наявності в сталі більш 0,05 % надає їй низьку в'язкість при кімнатній температурі і при охолодженні нижче нуля градусів сталь стає тендітною, одержує "холодноламкість".

Сірка погіршує механічні властивості сталі й у холодному стані значно понижує її в'язкість.

1.3. Склад і структура деталей II групи.

Для інших, менш відповідальних деталей типу шестерня прийнята сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015, яка містить 0,17...0,23% С, що сприяє одержанню після термообробки твердого поверхневого прошарку і в'язкої серцевини.

Сталь легована хромом, марганцем, титаном. Відсотковий вміст цих елементів представлено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сталі 18ХГТ

Склад елементів, %							Не більше	
С	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Ni	P	S
0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,1	1,0-1,3	0,03-0,09	≤0.30	≤0.30	0,035	0,035

Підвищений вміст марганцю в сталі 18ХГТ в порівнянні зі сталлю деталей першої групи пояснюється прагненням замінити нікель, що майже досягається. Тому ця сталь є значно дешевшою, хоча й не забезпечує весь комплекс характеристик, якими володіє сталь 200ХНМ. Вплив інших легуючих елементів аналогічний розглянутому для деталей I-ї групи. Ті сприяє підвищенню міцності сталі та зниженню швидкості росту зерна при температурах нітроцементациї.

Механічні властивості сталі після нітроцементациї при 900°С, загартування 820...860°С і відпуску 180...200°С представлені в таблиці 1.6 [9].

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>				Арк.
									15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 1.6 – Механічні властивості сталі 18ХГТ

Режим ТО	σ_T	σ_B	δ	ψ	КСУ	НВ
	МПа		%		Дж/ м ²	Не більше
Нітроцементация 900 ⁰	930	1180	10	50	78	340

Критичні точки сталі 18ХГТ приведені в таблиці 1.7 [9].

Таблиця 1.7

A _{c1}	A _{c3}	A _{r1}	A _{r3}	M _п
740°C	825°C	650°C	730°C	360°C

Сталь 18ХГТ має гарну прогартовуваність. Смуга прогартовуваності подана на рисунку 1.2 [5].

Смуга прогартовуваності сталі 18ХГТ

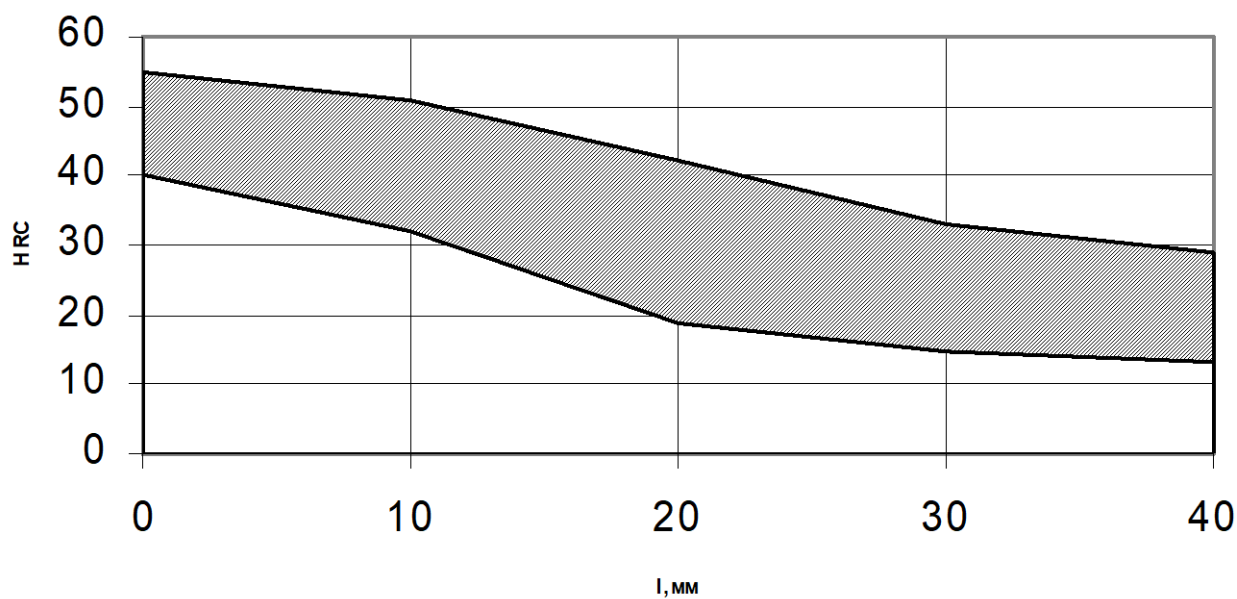


Рисунок 1.2 – Залежність твердості від відстані до краю заготовки

Технологічні властивості сталі 18ХГТ подані в таблиці 1.8

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 1.8

Марка сталі	Температура кування, °С		флокеночутливість	Відпускна крихкість
	початок	кінець		
18ХГТ	1220	870	не чутлива	малосхильна

1.4. Розробка технологічних процесів деталей

Технологічний процес термообробки деталей складається з підготовчих, основних, завершувальних і контрольних операцій, виконуваних послідовно одна за одною [10].

Вихідними документами для розробки технологічного процесу термообробки є креслення виробу і технічні умови на його виготовлення. У кресленні указуються вид і марка матеріалу, з якого повинний бути виготовлений виріб, твердість яким він повинен володіти, вид термообробки.

Великі резерви підвищення надійності і довговічності важконавантажувальних деталей машин знаходяться в застосуванні прогресивної технології термічної і хіміко-термічної обробки деталей. Впровадження прогресивної технології термічного і хіміко-термічного обробки дозволяє вирішувати найважливіші задачі, пов'язані з ростом продуктивності праці і підвищення довговічності машин.

Вибір виду термічної і хіміко-термічної обробки і її обґрунтування провадиться на основі технічних вимог. Всі деталі, що проходять обробку на проєктованій ділянці піддаються нітроцементациї з безпосереднім загартуванням і наступним низькотемпературними відпусками.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Мета і задачі дипломної роботи

Метою дипломної роботи є вдосконалення технологічного процесу термічної обробки виготовлення шестерень редуктора. Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести необхідні технологічні розрахунки нагріву, витримки і охолодження деталей;
- спроектувати оснащення, необхідне для реалізації технологічного процесу.
- провести необхідні дослідження мікроструктури та твердості деталей.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Обґрунтуванням вибору технологічного процесу для кожної групи деталей

2.1.1. Обґрунтування технологічного процесу виготовлення шестерень колісного редуктора (для деталей I групи)

У даному проекті для обробки деталей із сталі 20ХНМ виходячи з технічних вимог креслення (прошарок 0,7...1,0 мм; твердість поверхні 56...62HRC_e, твердість серцевини 35...45HRC_e) доцільно застосовувати нітроцементацию з безпосереднім загартуванням і низьким відпуском [13,14].

Процес нітроцементации більш розроблений і більш технологічний у порівнянні з цементацией, тому що при цій хіміко-термічній обробці температури більш низькі (840...870)⁰С, загартування безпосереднє, що сприяє стабільним геометричним параметрам. З метою отримання якомога дрібнішого зерна після нітроцементации застосовуємо мінімально можливу температуру процесу нітроцементации – 850⁰С. Це призводить до незначного зменшення дифузії вуглецю і зростання дифузії азоту в матеріалі.

Найкращі результати нітроцементации з'являються при використанні ендотермічної атмосфери (із регульованим потенціалом вуглецю) в який добавляють аміак.

Склад атмосфери, що застосовується:

- 20% CO;
- 40% H₂ і 40% N₂;
- 3...5% CH₄;
- 3...5% NH₃.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після нітроцементації слідує загартування, потім низький відпуск при температурі 130...180⁰С.

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого прошарку повинна складатися з дрібноголкового мартенситу, невеликої кількості дрібних рівномірно розподілених карбідів і 25...30% аустеніту залишкового.

Твердість прошарку 58...63HRC_e, максимальні показники міцності досягаються при оптимальній для даної сталі наявності вуглецю й азоту на поверхні нітроцементованого прошарку.

Для сталі 20ХНМ на глибині прошарку 0,5...0,75 мм оптимальна сума азоту і вуглецю 1,05...1,25%. При високій наявності азоту (більш 0,4...0,5%) на поверхні оброблюваних деталей утвориться “темна складова”. Обидва дефекти понижують границю витривалості при вигині і контактній міцності.

При оптимальній концентрації вуглецю в нітроцементованому прошарку в мікроструктурі з'являється тростит. Оптимальна концентрація вуглецю й азоту на поверхні нітроцементованого прошарку в сталі 20ХНМ 0,5...0,9%.

Нітроцементація має ряд переваг у порівнянні з газовою цементацією:

- менша глибина прошарку;
- вищий опір зносу і корозії;
- менший час витримки.

Остаточні властивості нітроцементовані вироби одержують після проведення наступного загартування і відпуску.

Ці обробки необхідні для виправлення структури, для одержання високої твердості прошарку і гарних механічних властивостей серцевини, усунення карбідної сітки в прошарку.

Зниження твердості пояснюються підвищеним знаходженням аустеніту залишкового.

Метою низького відпуску є зняття внутрішніх напружень у загартованих сталях при збереженні високої твердості.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2. Обґрунтування технологічного процесу деталей II групи

Відповідно до технічних вимог менш відповідальних деталей II групи для одержання заданих властивостей застосовуємо поліпшення.

Термічне поліпшення - це загартування і високотемпературний відпуск.

Від правильно обраного режиму залежить якість термообробки, одержання тієї або іншої структури сталі. Деталі мартенситної структури мають високу твердість і зносостійкість, але підвищену крихкість. Для до евтектоїдної сталі нагрів під загартування проводиться до температури на $30...50^{\circ}\text{C}$ вище A_{c3} .

Для сталі 18ХГТ:

$$t_{\text{запм}} = 825 + 50 = 875^{\circ}\text{C}.$$

У випадку необхідності дану сталь можна використовувати для цементації або нітроцементації.

Основними чинниками визначальної властивості сталі після загартування є: температура нагріву, час нагріву, час витримки, швидкість охолодження і вихідна структура.

Час нагрівання сталевих виробів до заданої температури або швидкість нагріву залежить від ступеня легування сталі, конфігурації виробу, потужності і типу печі, розміру сажі, способу укладки деталей і інших чинників.

При загартуванні сталі на мартенсит одним із найбільш важливих чинників є швидкість охолодження в інтервалі найменшої стійкості охолодженого аустеніту ($400...650^{\circ}\text{C}$). Швидкість охолодження в цьому інтервалі температур повинна бути вище критичної швидкості загартування.

Нижче цих температур зона відносної стійкості аустеніту – охолодження повільне.

У якості гартівного середовища для сталі 18ХГТ застосовується олива.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Опис обраних технологічних процесів термічної обробки.

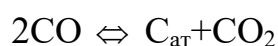
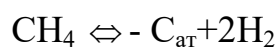
2.2.1. Нітроцементация

Нітроцементация - це дифузійний процес який полягає в нагріванні і насиченні поверхні вуглецем і азотом у газовому середовищі, що складається з газу, який навуглецьовує і продуктів дисоціації аміаку при тривалих витримках при температурі вище критичної точки A_{C3} .

Необхідні механічні властивості деталі досягаються за рахунок охолодження з такою швидкістю при якій досягається перетворення аустеніту в мартенсит.

Насичення сталі азотом і вуглецем можливо за умови, що до поверхні металу підводиться хімічно активний атомарний вуглець і азот.

Вони утворюються при протіканні в газовому середовищі реакції дисоціації метану, окису вуглецю й аміаку.



Швидкість виникнення нітроцементованого прошарку залежить від:

- складу карбюризатора;
- температури процесу;
- тривалості процесу.

Ендогаз дозволяє регулювати знаходження вуглецю в поверхневому прошарку деталей. Компонентом який регулює властивості атмосфери, є водяний пар, знаходження якого в атмосфері чітко контролюються по точці роси. Точка роси – $50 \pm 5^{\circ}C$.

В якості газу, що навуглецьовує поверхневий шар, застосовується природний газ. Це дешевий і зручний для регулювання процесу карбюризатор,

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тому що природний газ містить багато метану, що призводить до самоутворення і зміни насичення карбідами, саме тому застосовуємо суміш газів:

- ендогаз – 80 мм³/год;
- природний газ – 3...3,5 мм³/год;
- аміак – 1,5...2 мм³/год.

Активні атоми азоту, що виділилися, і вуглецю негайно адсорбуються і дифундують у глиб металу, створюючи тверді розчини вуглецю й азоту.

Аміак дисоціює при більш низькій температурі й азот дифундує в сталь при температурі нижче точки $A_{с3}$, переводить залізо зі стану α в γ і створює сприятливі умови для насичення сталі вуглецем.

Високі показники досягаються при оптимальному насиченні азотом і вуглецем – сумарний вміст складає 1,05...1,25%.

Другим чинником який впливає на склад і властивості є температура.

Графік залежності знаходження вуглецю й азоту в нітроцементованому прошарку від температури:

З графіка (рисунок 2.1.) очевидно, що оптимальною температурою для нітроцементзації є температура 850...870 °С. Зниження температури веде до зниження концентрації вуглецю в прошарку, різкому переходові від насиченого прошарку до серцевини, пересиченої поверхні азотом і крихкості сталі.

Підвищення температури веде до зростання знаходження вуглецю і зниженню азоту, що частіше призводить до зниження міцності. В нашому випадку, при температурі нітроцементзації 850 °С спостерігається значне насичення поверхні азотом та дещо нижче насичення вуглецем.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

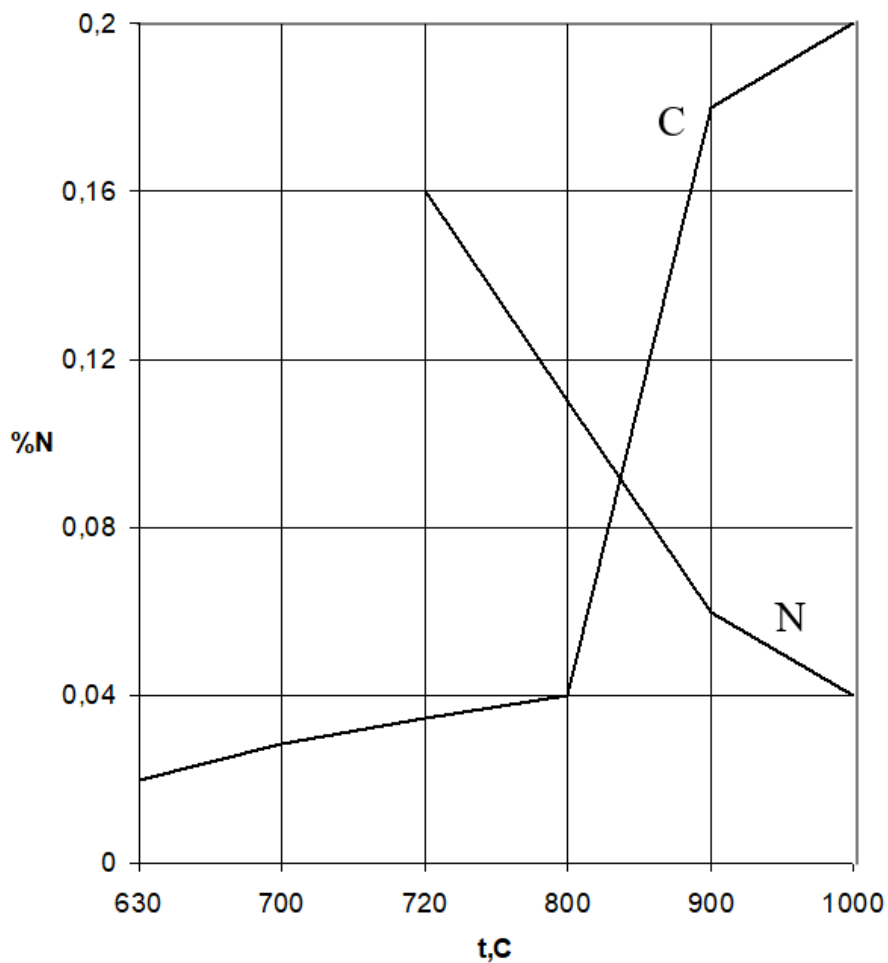


Рисунок 2.1 – Графік залежності інтенсивності насичення поверхневого шару вуглецем та азотом зі зміною температури

З графіка (рисунок 2.2.) очевидно, що чим вище температура і чим більше тривалість, тим більша глибина прошарку.

Тривалість процесу:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{вит}} ,$$

де $\tau_{\text{н}}$ – час нагріву деталей, год.;

$\tau_{\text{вит}}$ – час витримки деталей у печі, год.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

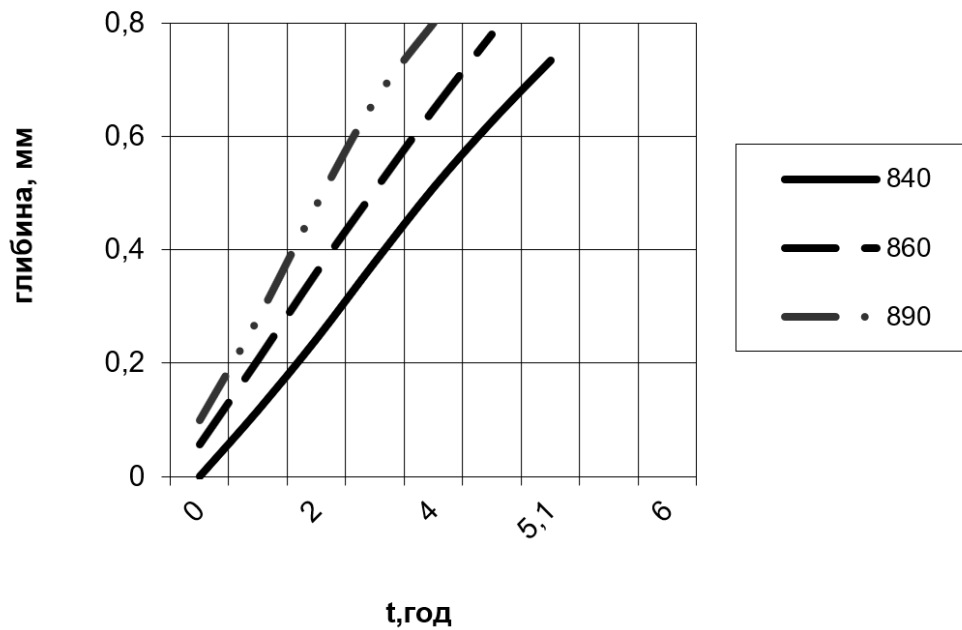


Рисунок 2.2 – Графік залежності глибини прошарку від температури

2.2.2. Загартування

Після нітроцементзації деталі піддаються безпосередньому загартуванню.

Загартування - це процес термообробки; який полягає в нагріванні сталі вище критичної точки ($A_{C1}-A_{C3}$) на $(30...50)^{\circ}C$, витримці при цій температурі і наступному охолодженню зі швидкістю вище критичної.

Температура загартування:

$$t_{\text{заг.}} = 820 + 30 = 850^{\circ}C .$$

У результаті загартування підвищується міцність, твердість, знижується пластичність.

На процес загартування впливають такі чинники:

- температура;
- час нагрівання;
- час витримки;
- швидкість охолодження.

При газовій нітроцементації деталей виготовлених із спадково-дрібнозернистої сталі, широко застосовується безпосереднє загартування. Температура загартування дорівнює 850°C , а потім відбувається охолодження в оливі.

Швидкість охолодження дуже важлива стадія в процесі загартування.

Основним показником при виборі середовища охолодження, служить критична швидкість охолодження, що визначається за формулою:

$$V_{кр} = \frac{T_3 - T_{min}}{1.5 \cdot \tau_{min}} \text{ град./с,}$$

де, T_3 – температура загартування, $T_3=850^{\circ}\text{C}$;

T_{min} – температура мінімальної тривалості $A_{ост}$;

τ_{min} – час мінімальної тривалості $A_{ост}$;

T_{min} і τ_{min} визначається по С- подібній кривій, вони рівні:

$T_{min}=500^{\circ}\text{C}$;

$\tau_{min}=8\text{сек}$,

$$V_{кр} = \frac{850 - 500}{1,5 \cdot 8} = 29,2 \text{ град./с,}$$

Так як швидкість охолодження мала, то гартівним середовищем є олива.

Для охолодження вибираємо індустріальну оливу И-20А.

2.2.3. Миття

Загартовані в оливі деталі піддаються миттю. Мийка деталей забезпечує очищення від оливи і бруду, покращує якість наступної термічної обробки - низького відпуску.

Промивання деталей проводиться у мийній машині, струменеве промивання 3...5% розчином кальцинованої соди, струменеве промивання гарячою водою.

Температура миючого розчину повинна бути $70...90^{\circ}\text{C}$.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.4. Відпуск

Після промивання деталі піддаються наступному низькотемпературному відпуску.

Відпуск - це операція термообробки полягає в нагріванні загартованої сталі до температури нижче критичної точки A_{c1} , витримці при цій температурі й охолодженні до кімнатної температури.

Ціль відпуску: зняття внутрішніх напружень отриманих при загартуванні й одержанні заданих властивостей.

Після загартування структура $M+A_{ост}$. Структура загартованої сталі, а також і властивості нестабільні, схильні до постійної зміни.

Після відпуску в інтервалі температур (180...200) °C внутрішні напруги знімаються. Голчаста мартенситна структура залишається, але голки менше різкі - це структура мартенсит відпуску.

Температура відпуску вибирається в залежності від марки сталі і необхідної твердості.

З графіка (рисунок 2.3) очевидно, що температура відпуску для сталі 20ХНМ вибирається в інтервалі температур (150...200) °C.

Твердість після низькотемпературного відпуску 59...63 HRC_e. Час відпуску вибирається в залежності від ступеня зняття внутрішніх напружень.

З графіка на рисунку 2.4 очевидно, що максимальні напруги знімаються протягом 2 годин.

2.2.5. Зміцнення

Після хіміко-термічної обробки деталі піддаються зміцненню.

Для зміцнення застосовується механічна операція – шротоструменеве нагартування.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

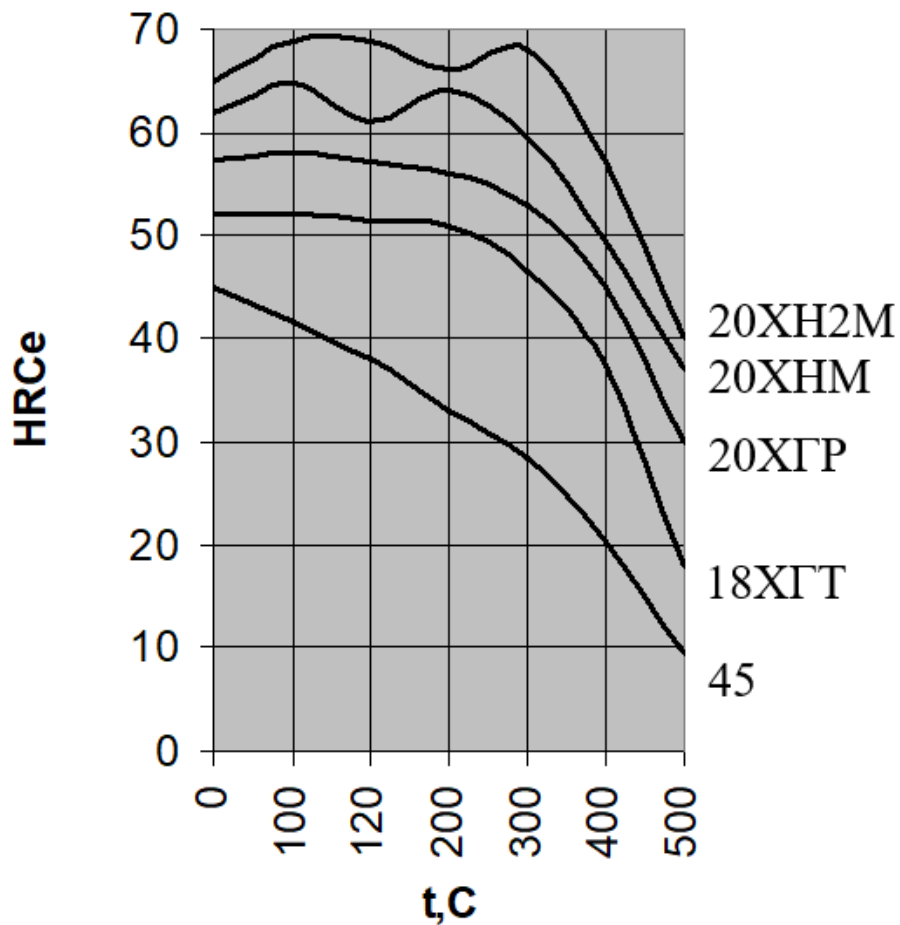
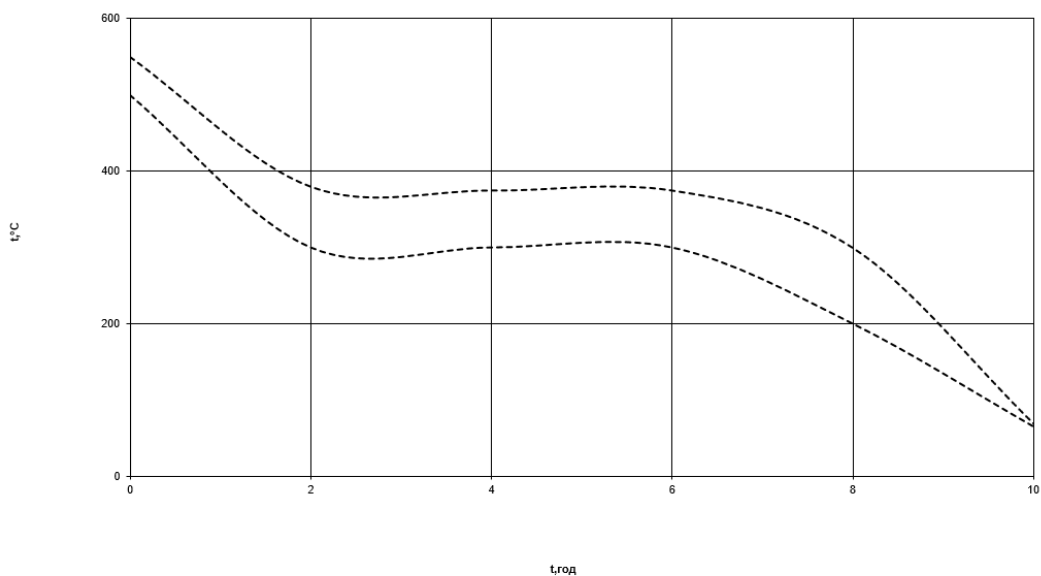


Рисунок 2.3 – Залежність твердості від температури відпуску.



Рисунку 2.4 – Вплив тривалості відпуску сталі 20ХНМ на розмір залишкових напружень

Його сутність у тому, що деталі після остаточної термообробки піддаються дії потоку дробу. У результаті ударів великої кількості дробинок по поверхні утвориться зміцнений прошарок.

Результати зміцнення залежать від розміру дробу, швидкості потоку дробу, часу процесу, потоку дробу.

В результаті наклепу в поверхневому прошарку зростає міцність, твердість і збільшується термін служби деталей.

Оптимальний режим зміцнення є наклеп сталевими дробинами діаметром 0,6...0,8мм при швидкості потоку дробу 80м/с. Витрата дробу 80кг/хв.

2.3. Розробка технологічних параметрів для шестерень редуктора

Сучасна технологія термообробки базується на цілеспрямованому, нерідко багаторазовому тепловому впливові на вироби [14,15].

Основою будь-якого процесу термообробки є зміна температури в часі. Температурний режим є найголовнішим чинником кожної термічної операції й укладається з температурних інтервалів основних її стадій - нагрівання, витримки й охолодження.

При нагріванні доєвтектоїдних сталей їх нагрівають до температури на 30...50⁰С вище верхньої критичної точки A_{c3} . При такому нагріванні вихідна ферито-перлітна структура перетворюється в аустеніт, а після охолодження зі швидкістю більше критичної, утвориться структура мартенсит.

Нагрів при термообробці заснований або на трансформованні електроенергії в теплову безпосередньо в самому виробі (індукційний електроконтактний), або на передачі тепла виробові з зовнішнього джерела(печі електроопору та полум'яні).

Звідси і виділення принципово різних двох засобів нагрівання: безпосереднього і непрямого.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більшість операцій термообробки роблять груповими засобами, тобто вироби завантажують передатними партіями.

Теплопередача в партії залежить від числа і взаємного розташування виробів. У великій партії, що складає з виробів складної конфігурації при нерегламентованому їхньому завантаженні (навалом) складно виявити загальний коефіцієнт нагрівання й охолодження.

Великі складності виникають при визначенні швидкості зміни температури сажі, при щільній укладці великого числа виробів, тому що в ній утвориться нерухомий прошарок атмосфери. Чинники, що визначають час і рівномірність нагрівання різноманітні, і їх багато. Тому при подальшій експлуатації обладнання можлива корекція параметрів технологічного процесу.

2.3.1. Розрахунок часу нагріву шестерень

Розрахунок часу нагріву виконується за трьома інтервалами: I – 20...600 °С, II – 600...800 °С, III – 800...1060 °С [15,16]

Тривалість нагріву визначається за формулою:

$$\tau = \frac{S\rho C_p}{k_1\alpha} \ln \frac{t_{неч} - t_n}{t_{неч} - t_k},$$

де S – розрахункова товщина тіла, що нагрівається (половина товщини при двохсторонньому нагріві);

k_1 – коефіцієнт форми, який для циліндра дорівнює 2;

ρ – густина, кг/м³;

C_p – середня теплоємність, Дж/кг·град;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·град;

$t_{неч}$ – температура печі, °С;

t_n – початкова температура тіла, °С;

t_k – кінцева температура тіла, °С;

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для першого інтервалу температур 20...600°C тривалість нагріву рівна:

$$\tau_1 = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,57 \cdot 10^3}{1 \cdot 132,63} \cdot \ln \frac{900 - 20}{900 - 600} = 722c = 12,03xв. = 0,20год.$$

Середня теплоємність в інтервалі температур:

$$C_{pt_n}^{t_k} = \frac{i_0^{t_k} - i_0^{t_n}}{t_k - t_n},$$

де i^t – тепловміст при температурі t , кДж/кг.

$$C_{pt_n}^{t_k} = \frac{(340,8 - 9,38) \cdot 10^3}{600 - 20} = 0,57 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град.};$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha^* = \sigma_{печ} \frac{\left(\frac{T_{печ}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_n}{100}\right)^4}{t_{печ} - t_n},$$

де $t_{печ}(T_{печ})$ – температура печі, °C(°K);

$t_n(T_n)$ – температура поверхні, °C(°K);

$\sigma_{печ} = \varepsilon \sigma_0$ – приведений коефіцієнт випромінювання, Вт/м²·°K⁴,

де $\sigma_0 = 5,76$ Вт/м²·°K⁴;

ε – степінь чорноти.

$$\alpha_1^* = 4,07 \frac{\left(\frac{1173}{100}\right)^4 - \left(\frac{293}{100}\right)^4}{900 - 20} = 87,22 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град.};$$

$$\alpha_2^* = 4,07 \frac{\left(\frac{1173}{100}\right)^4 - \left(\frac{893}{100}\right)^4}{900 - 600} = 178,04 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град.};$$

Середнє значення коефіцієнту тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\alpha_n + \alpha_k}{2};$$

$$\alpha_1 = \frac{87,22 + 178,04}{2} = 132,63;$$

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 1224.00.00.000 ПЗ				

Для другого інтервалу температур від 600...800°C:

$$\tau_2 = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 1,056 \cdot 10^3}{204,53} \cdot \ln \frac{900 - 600}{900 - 800} = 879 \text{с} = 14,65 \text{хв.} = 0,24 \text{Год.}$$

Середня теплоємність в другому інтервалі температур:

$$C_{pt,2}^{t_k} = \frac{(550,6 - 340,8) \cdot 10^3}{800 - 600} = 1,049 \text{кДж/кг} \cdot \text{град.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі в другому інтервалі температур:

$$\alpha_3^* = 4,07 \frac{\left(\frac{1173}{100}\right)^4 - \left(\frac{1073}{100}\right)^4}{900 - 800} = 231,02 \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

Середнє значення коефіцієнту тепловіддачі в другому інтервалі температур:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_2^* + \alpha_3^*}{2} = \frac{178,04 + 231,02}{2} = 204,53 \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

Для третього інтервалу температур 800...850°C тривалість нагріву рівна:

$$\tau_3 = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,78 \cdot 10^3}{238,72} \cdot \ln \frac{900 - 800}{900 - 850} = 353 \text{с} = 5,88 \text{хв.} = 0,09 \text{Год.}$$

Середня теплоємність в третьому інтервалі температур:

$$C_{pt,3}^{t_k} = \frac{(589,4 - 550,6) \cdot 10^3}{850 - 800} = 0,78 \text{кДж/кг} \cdot \text{град.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі в третьому інтервалі температур:

$$\alpha_4^* = 4,07 \frac{\left(\frac{1173}{100}\right)^4 - \left(\frac{1123}{100}\right)^4}{900 - 850} = 246,43 \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

Середнє значення коефіцієнту тепловіддачі в третьому інтервалі температур:

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_3^* + \alpha_4^*}{2} = \frac{231,02 + 246,43}{2} = 238,72 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

Час нагріву заготовки:

$$\tau = 722 + 879 + 355 = 1956 \text{ с} = 32,6 \text{ хв.} = 0,54 \text{ год.}$$

З врахуванням розташування заготовок у печі час нагріву визначиться за формулою:

$$\tau_n = \tau \cdot \alpha,$$

де τ – час нагріву заготовки, год;

α – коефіцієнт, що враховує спосіб розташування заготовки в печі, приймаємо його рівним 2.2 [4].

Отже час нагріву:

$$\tau_n = 0,54 \cdot 2,2 = 1,18 \text{ год.}$$

2.3.2. Час витримки

Проходження в нагрітому сплаві фазових перетворень, розчинення карбідів, є дифузійними процесами і протікають повільно тому для їхнього завершення необхідна визначена витримка. Час витримки залежить від різноманітних чинників, так при аустенізації він визначається складом сплаву і швидкості фазових перетворень. На кожний міліметр товщини перетину після нагрівання установлюють витримку тривалістю одну хвилину, із збільшенням легованості сталі для розчинення спеціальних карбідів в аустеніті, час витримки збільшується до двох хвилин на кожний міліметр перетину або $(0,2 \dots 0,3) \tau_n$.

Визначаємо час витримки:

$$\tau_{\text{вит}} = 0,3 \cdot \tau_n = 0,3 \cdot 1,18 = 0,36 \text{ год.}$$

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Маршрутна технологія і її опис

Маршрутна технологія визначає послідовність виконання технологічних операцій при виготовленні певного виробу

2.4.1. Схема маршрутної технології.

Схема маршрутної технології представлена на рисунку 2.5.

1. Вхідний контроль продукції, що надходить. Вхідний контроль проводять на хімічний склад матеріалу. Визначається в стані постачання структура, за якою визначається форма карбідної фази. Так само визначається твердість, для визначення оброблюваності різанням.

2. Роздільна. Розрізання матеріалу на заготовки під штампування.

3. Штампування. Контроль температури штампування $t_n = 1220^{\circ}\text{C}$, $t_k = 850^{\circ}\text{C}$. у процесі штампування збільшується розмір зерна, тому що відбувається нагрів заготовок до високих температур. Тому необхідна попередня термообробка.

4. Нормалізація. Призначена для здрібнювання зерна (повна перекристалізація) і деякого підвищення твердості. Проводиться при температурі вище A_{c3} на $(30...50)^{\circ}\text{C}$. час витримки повинен відповідати повної аустенізації з наступним охолодженням на повітрі. Контроль температури $t = 950^{\circ}\text{C}$ і твердості $\leq 217 \text{ HB}$.

5. Механічна обробка.

6. Хіміко-термічна обробка.

Нітроцементация з безпосереднім загартуванням і низький відпуск.

Контроль: газової атмосфери, температури Нітроцементация $t = 850^{\circ}\text{C}$, температури загартування $t = 850^{\circ}\text{C}$. Охолодження після загартування в оливі. При виборі охолоджуючого середовища необхідно виходити з критичної швидкості охолодження.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

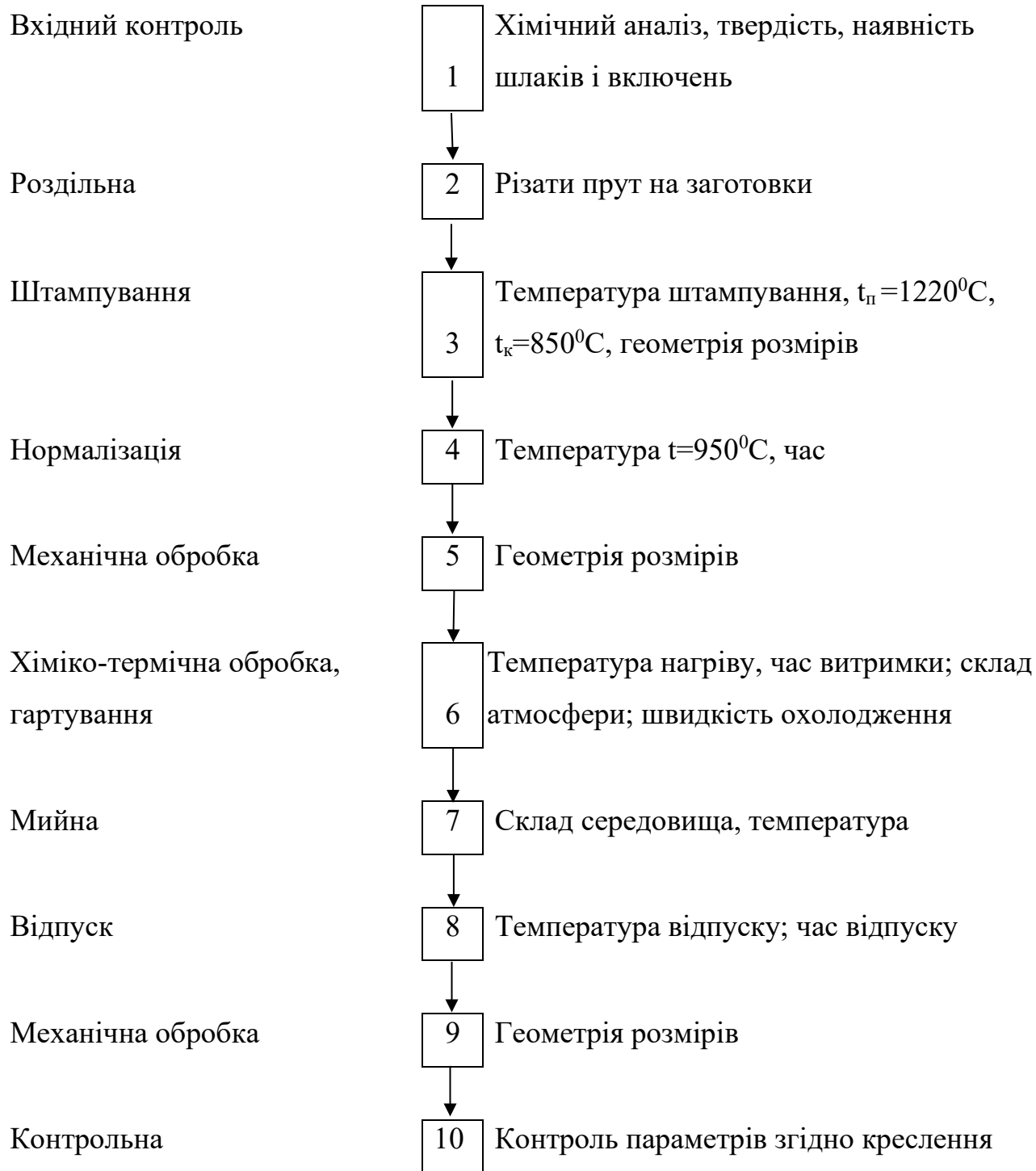


Рисунок 2.5 – Схема маршрутної технології шестерні колісного редуктора, виконаної зі сталі 20ХНМ

7. Мийка. Ця операція провадиться для очищення деталей від масла, бруду й окалини.

8. Низькотемпературний відпуск. Призначений для зняття внутрішніх напружень після загартування. Виходячи з цього, час витримки складає 2 години при температурі рівній 180°C.

9. Механічна обробка.

10. Контрольна.

2.4.2. Опис технологічної карти термічної обробки деталей

Технологічна карта є частиною маршрутної технології. Технологічна карта – основний документ термічної ділянки, у якому зазначений маршрут пересування деталей по ділянці.

Шестерня подається на термічну ділянку з механічного цеху в контейнерах із супровідними документами (із сертифікатами, пресами на деталях) за допомогою електронавантажувача.

Деталі після механічної обробки знежирюються в 5% содовому розчині.

Потім деталі переміщуються на місце складування до безмуфельного агрегату нітроцементатії і в міру необхідності завантажуються в пристосування. В міру пересування деталей по печі вони нагріваються до необхідної температури ($t=850\text{ }^{\circ}\text{C}$) і знаходяться в печі у відділі нітроцементатії 5,5 годин. Нагрів ведеться в середовищі захисного (ендотермічного) газу. Склад газу:

- CO – 17...21%;
- H₂ – 42...46%;
- N₂ – 27...39%;
- CH₄ – 2...6%.

Потім деталі гартуються з температури $t=850\text{ }^{\circ}\text{C}$ і охолоджуються з заданою швидкістю в гартівному баку до температури 40°C. В якості гартівної рідини застосовується індустріальна олива И-20.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед нагріванням у відпускній печі деталі промиваються в мийній машині агрегату в 3...5% содовому розчині при температурі (60...80)⁰С.

Відпуск шестерень також ведеться в середовищі захисного газу. Нагрів проводиться до температури 180⁰С. Тривалість перебування деталей у відпускній частині печі складає 2 години. Охолодження після нагрівання проводиться на повітрі під витяжкою агрегату. Графік термічної обробки приведено на рисунку 2.6.

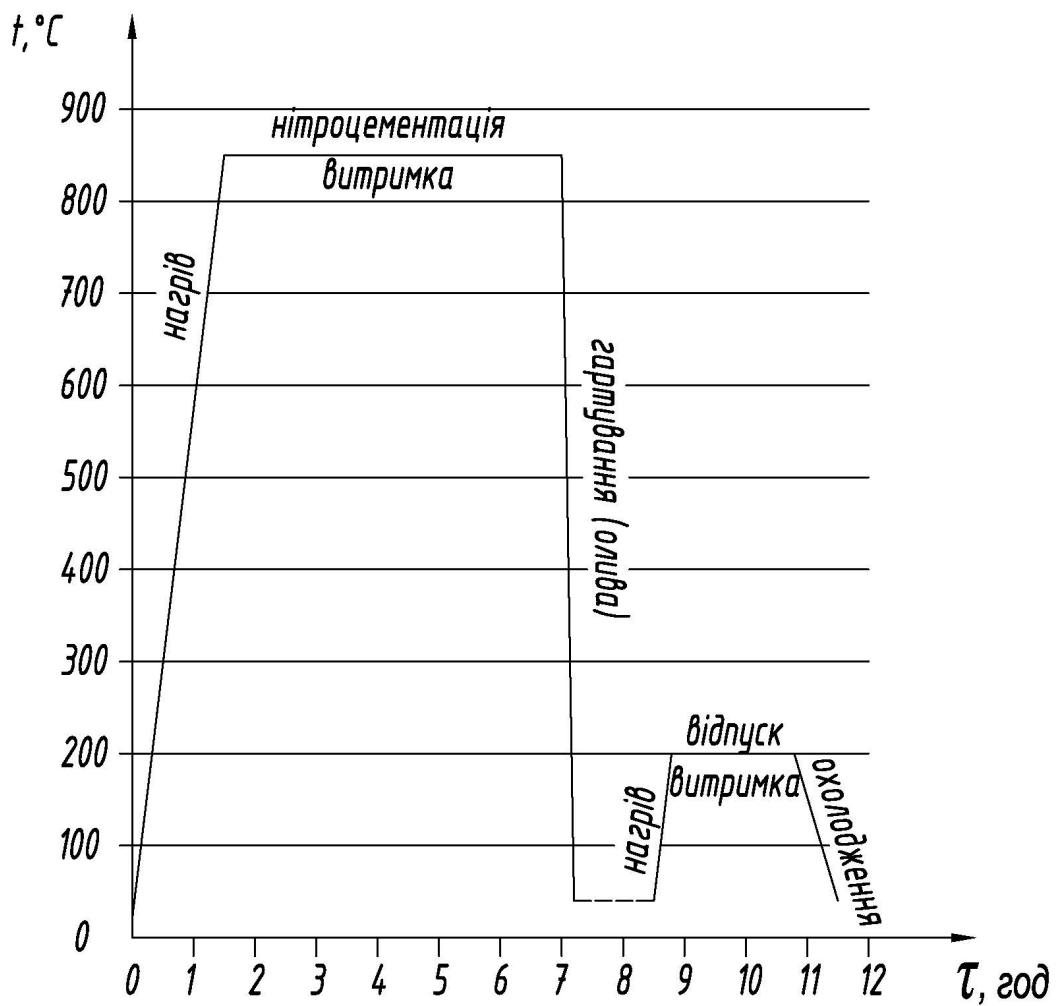


Рисунок 2.6 – Графік термічної обробки шестерень редуктора (сталь 20ХНМ)

Після завершення циклу термообробки шестерні переміщуються на місце складування готових виробів. В міру необхідності шестерні надходять на ділянку технічного контролю для контролю якості прошарку нітроцементації.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль деталей після хіміко-термічної обробки проводиться в проміжку між загартуванням і низьким відпуском. Перевіряють глибину і якість прошарку нітроцементациї на зразках “свідках” що вийшли із гартівного бака.

Глибину нітроцементованого прошарку і якість загартування визначаються на металографічних шліфах за допомогою металографічного мікроскопа, при збільшенні в 100 разів.

Твердість поверхні і ядра зуба визначається на приладі Роквела.

Замір твердості на НРС перевіряється на 5% від запропонованої партії.

Перевірка на радіальне биття в поверхні діаметра шестерні – 5% від партії.

По закінченні контролю на кожній деталі ставиться штамп і складається супровідний документ.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Обладнання для хімікотермічної обробки шестерень

Після механічної обробки шестерень проводиться хімікотермічна обробка, яка включає такі операції: нітроцементація, гартування, миття, відпуск і контрольна. Для проведення хімікотермічної обробки використовується таке обладнання:

- агрегат для нітроцементації та гартування;
- машина мийна;
- відпускна піч.

3.1.1. Агрегат для нітроцементації та гартування

Застосування агрегату для нітроцементації та гартування (рисунок 3.1) дозволяє уникнути виконання зайвих операцій, таких як, нагрів чи підігрів деталей перед гартуванням.

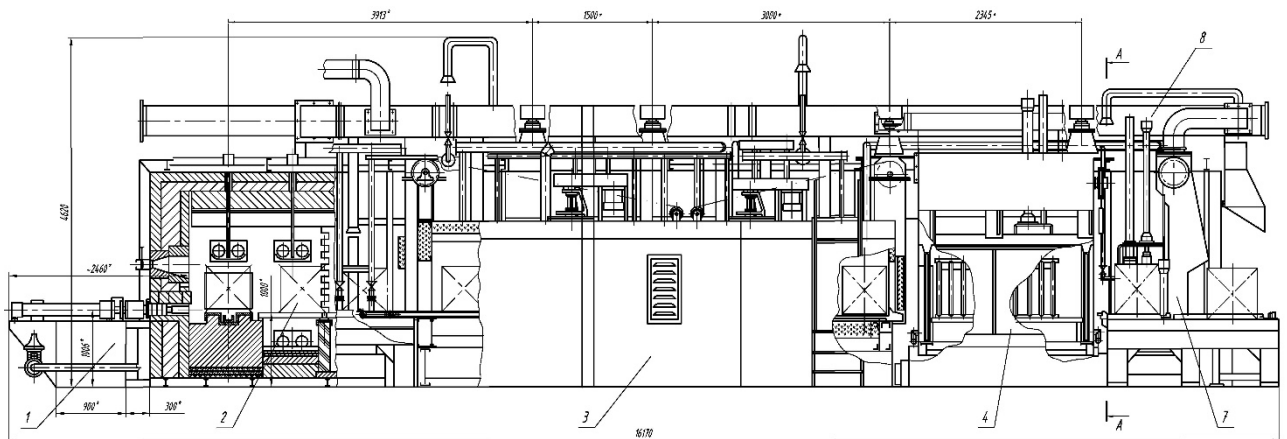


Рисунок 3.1 – Агрегат для нітроцементації та гартування

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи агрегату полягає у наступному – деталі поміщаються у тару і за допомогою завантажувального механізму 1 переміщається у відділ попереднього нагріву 2. У цьому відділі деталі нагріваються до температури 850° С. При цьому температура печі становить 900° С. Після чого переміщуються до відділу нітроцементатації 3, де витримуються за температури 850° С на протязі 5,5 годин. Після завершення процесу нітроцементатації деталі поступають у відділ гартування 4. Гартування проводиться у оливі. Після загартування деталі за допомогою вивантажувального пристрою 5 видаляються з печі. Для економії палива і забезпечення необхідних технологічних параметрів усі відділи відділені один від одного перегородками які мають можливість відкриватися при переміщенні деталей, які знаходяться у тарі.

Агрегат обладнаний кінцевими вимикачами, світловою і звуковою сигналізацією, що вмикаються у випадку порушення в роботі. На печах, підтримка технологічних параметрів термообробки: температури, тиски газу, його затрати здійснюється автоматично.

Автоматичне регулювання теплового режиму в печах, при термообробці, температури і рівномірності нагрівання садки сприяє раціональному використанню теплової енергії і безпечної роботи агрегату.

Автоматичне регулювання теплового режиму в печах із газовим обігрівом зводиться до зміни кількості газоповітряної суміші, що подається до пальників, і підтримання постійного співвідношення газу і повітря.

3.1.2. Фільтр для очищення оливи

На якість гартування великий вплив має стан оливи. З часом олива забруднюється і вимагається її подальше очищення або заміна. У даному агрегаті очищення оливи не передбачено. Тому було розроблено фільтр для очищення оливи (рисунок 3.2).

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

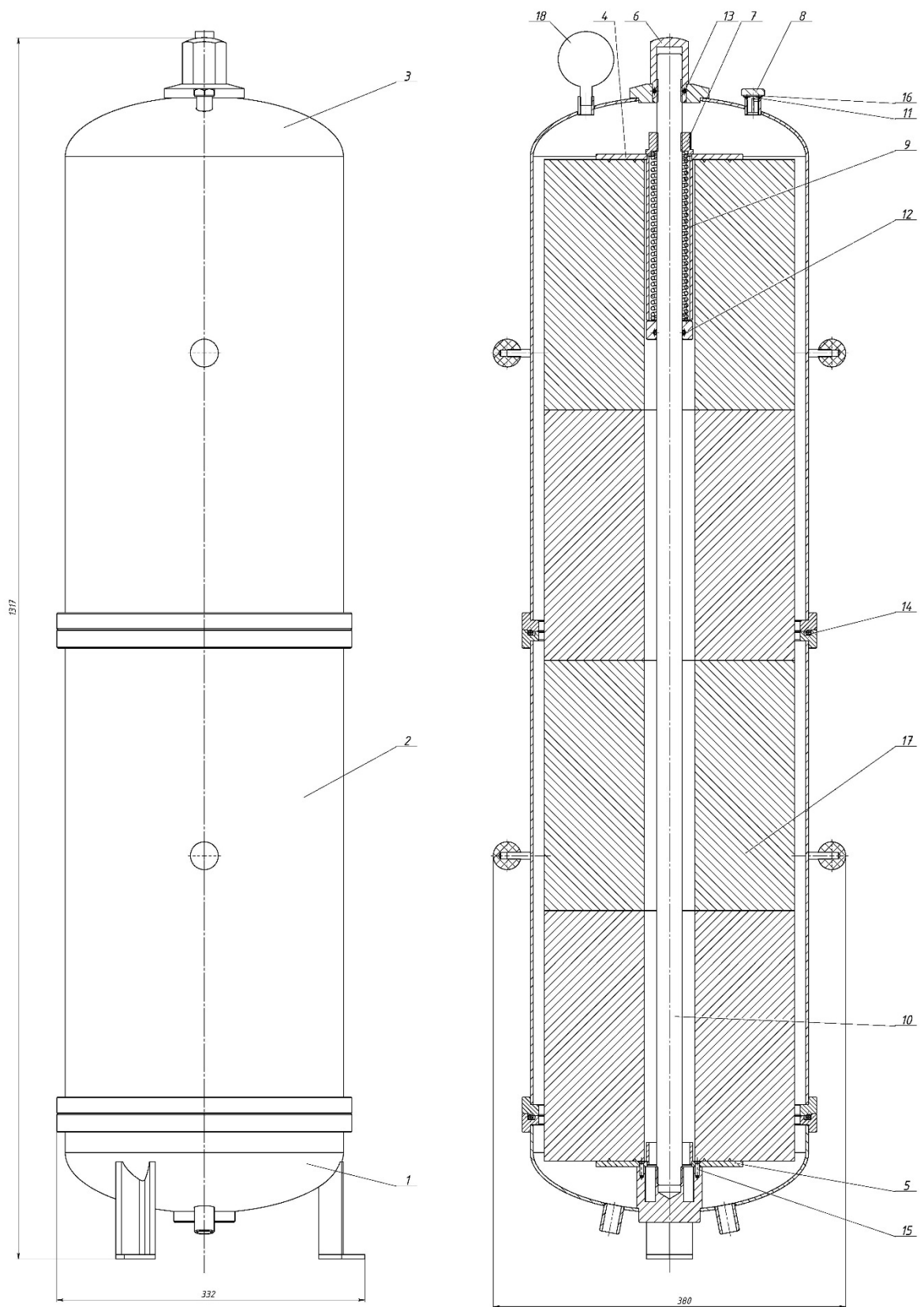


Рисунок 3.2 – Фільтр для очищення оливи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 1224.00.00.000 ПЗ

Арк.

41

Олива з гартувального баку поступає до фільтра. Через ніпель у основі 1 олива поступає у зовнішню порожнину фільтра. Проходячи через чотири фільтрувальних елементи 17 олива очищується і по центральному отвору через фланець 5 виводиться з фільтра. Після чого олива повертається назад у гартувальний бак агрегату.

3.2. Мийна машина

Після гартування деталі поступають забруднені оливою та залишками окалини. Для очищення від оливи та бруду після гартування застосовується мийна машина (рисунок 3.3).

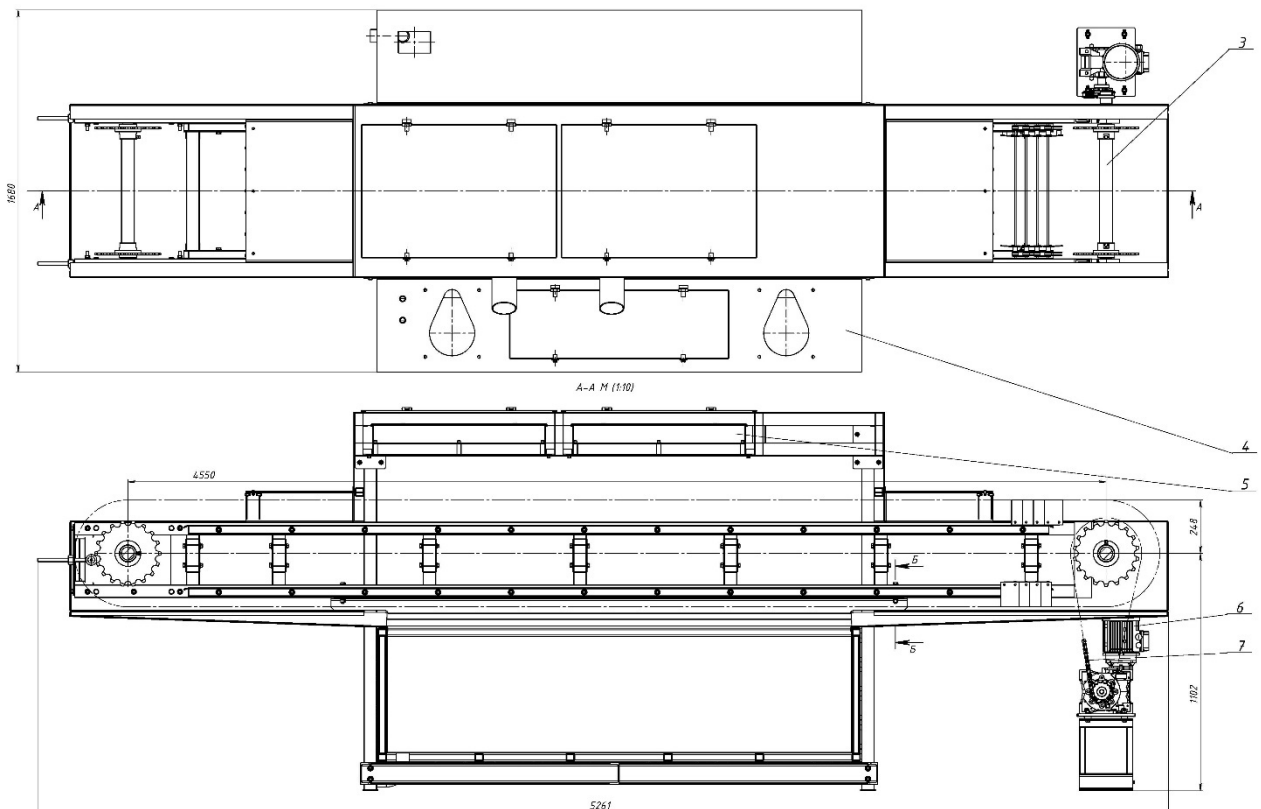


Рисунок 3.3 – Машина мийна

Деталі викладаються на сітковий конвеєр і поступають у мийну камеру. У мийній камері розташовані два душових баки. В першому бакові робочою рідиною є 3...5% розчин кальцинованої соди, в другому бакові робоча рідина -

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Деталі завантажуються у піч у тарі. Яка подається в піч за допомогою гідравлічного штовхача. Піч має дві камери. У першій камері відбувається нагрів до температури відпуску 200° С. У другій камері відбувається витримка протягом двох годин за даної температури.

Вхідне і вихідне вікно відкриваються автоматично за допомогою пневмоциліндрів 5. Кожна з камер обладнана вентиляторами 3 для кращого перемішування атмосфери печі і забезпечення більш рівномірного температурного режиму. Переміщення тари у печі відбувається по рельсам 9 які встановлені на балках 7, які в свою чергу встановлені на опорах 6.

Після вивантаження з печі деталі у тарі залишають охолоджуватися на повітрі.

3.3.1. Штовхач

Гідравлічний штовхач (рисунок 3.5) служить для заштовхування тари з деталями у піч.

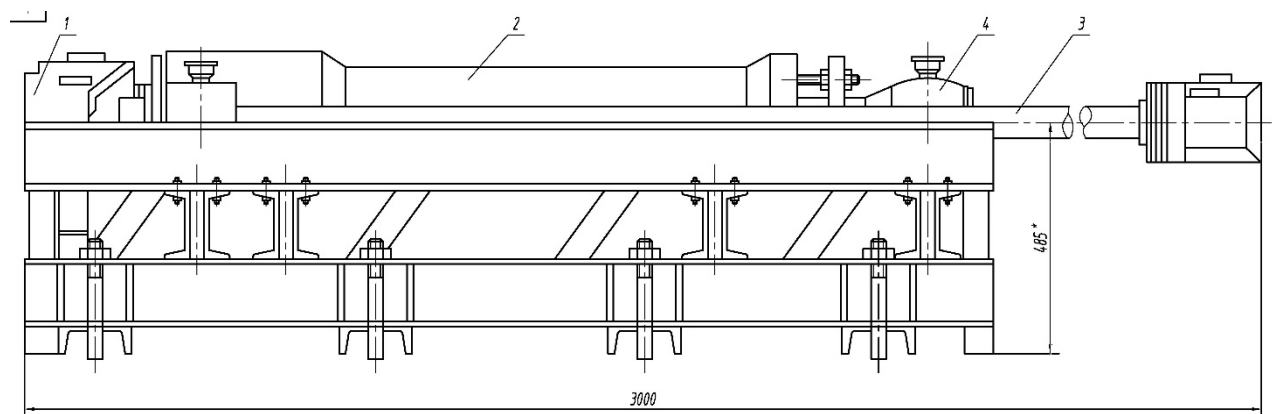


Рисунок 3.5 – Штовхач

Гідравлічний штовхач складається з рами на якій змонтований гідроциліндр 2 і направляючих 3, які забезпечують напрямок руху штовхача.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним параметром штовхача є діаметр поршня циліндра, який у даному випадку залежить від величини маси деталей і тари, що переміщуються [17].

Визначимо масу деталей і тари, що переміщуються у печі:

$$m = n(m_m + m_d) + m_n(n - 1) = 4(75 + 230) + 20(4 - 1) = 12680, \text{ кг},$$

де n – кількість тари у печі, приймаємо – 4 шт.;

m_m – маса тари, 75 кг;

m_d – маса деталей у тарі, 230 кг;

m_n – маса проставки, що встановлюється між тарою, 20 кг.

Визначимо силу яка необхідна для переміщення даної маси деталей і тари за формулою:

$$F = ma + fmg = 12680 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 12680 \cdot 9,8 = 24979,6, \text{ Н},$$

де a – g прискорення з яким переміщуються деталі і тара, $0,5 \text{ м/с}^2$;

f – коефіцієнт тертя пари сталь-сталь, $0,15$;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Визначимо площу поршня циліндра:

$$S_n = \frac{P}{F} = \frac{200}{24979,6} = 0,008, \text{ м}^2,$$

де P – номінальний тиск насосної станції, 200 Н/м^2 .

Отже діаметр поршня визначиться за формулою:

$$d_n = \sqrt{\frac{4S_n}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,008}{\pi}} = 0,1, \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр штока рівним 100 мм.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1. Дослідження структури і параметрів термообробки шестерні колісного редуктора.

Для виготовлення шестерні колісного редуктора використовувалась сталь 20ХНМ, яка містить 0,2%С біля 1% Cr, Ni та 0,8%Mo. Для шестерні вибирали параметри хіміко-термообробки, які відповідають нітроцементації даної марки сталі [18].

Нітроцементація даної деталі проводиться при 850°C. Після нітроцементації проводиться загартування в оливу безпосередньо з нітроцементаційної печі з температури насичення.

Максимальні показники міцності досягаються тільки при оптимальному для даної сталі вмісті на поверхні нітроцементованого шару вуглецю й азоту. Для отримання оптимальних механічних властивостей при нітроцементації необхідно регулювати не тільки вміст вуглецю, але й азоту. Азоту в шарі в шарі повинно бути не менше тієї кількості, що усуває шкідливі наслідки внутрішнього окислювання ($\geq 0,1 \dots 0,15$ %). При високому вмісті азоту (0,4...0,5%) у шарі утвориться “темна складова”.

“Темна складова” спостерігається на нетравлених шліфах у вигляді темної крапкової сітки і поширюється на глибину 0,1 мм і більше від поверхні. При нагріванні й охолодженні, що викликає фазові перетворення, “темна складова” залишається незмінною. Оптимальна кількість азоту в нітроцементованому шарі, яка не приводить до утворення “темної складової” 0,3...0,35 %.

Утворення темної складової пов'язане з деазотуванням поверхні дифузійного шару в процесі нітроцементації в атмосфері з високим азотним потенціалом. При збільшенні тривалості нітроцементації відбувається видалення азоту з поверхневих шарів дифузійного шару.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Концентрація азоту в шарі, як правило, досягає максимальних значень при тривалості насичення до 1...2 год., а потім починає знижуватися, тобто розвивається процес деазотування – перехід азоту в газову фазу.

Темна складова утвориться, коли сумарний вміст вуглецю й азоту перевищує межі його розчинності в аустеніті.

Темна складова виникає в результаті дисоціації нітридних фаз при заміщенні їх карбідами, окислювання і графітизації карбідів.

Якість нітроцементованого шару в ряді випадків слід оцінювати по сумарній концентрації вуглецю й азоту. Однак варто враховувати, що азот може міститися як у твердому розчині, що сприяє підвищенню прогартовуваності шару, так і в карбонітридній чи нітридній фазі; в останньому випадку його вплив на підвищення прогартовуваності і міцності шару знижується чи взагалі відсутній. У зв'язку з цим сумарна концентрація вуглецю й азоту може характеризувати якість шару тільки при наявності аустенітно-мартенситної структури, що не містить карбонітридної фази.

За даними І. С. Козловського і Б. В. Георгіївської, темна складова утворюється, коли сумарний вміст вуглецю й азоту перевищує межі його розчинності в аустеніті.

Темна складова виникає в результаті дисоціації нітридних фаз при заміщенні їх карбідами, окислювання і графітизації карбідів.

Якість нітроцементованого шару в ряді випадків слід оцінювати по сумарній концентрації вуглецю й азоту. Однак варто враховувати, що азот може міститися як у твердому розчині, що сприяє підвищенню прогартовуваності шару, так і в карбонітридній чи нітридній фазі; в останньому випадку його вплив на підвищення прогартовуваності і міцності шару знижується чи взагалі відсутній.

У зв'язку з цим сумарна концентрація вуглецю й азоту може характеризувати якість шару тільки при наявності аустенітно-мартенситної

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структури, що не містить карбонітридної фази, а також дефектних структур – темної складової і трооститної сітки.

Для вибору правильного режиму ХТО розраховуються криві розподілення концентрації азоту і вуглецю в дифузійному шарі. Даний розрахунок приведений на рисунку 4.1.

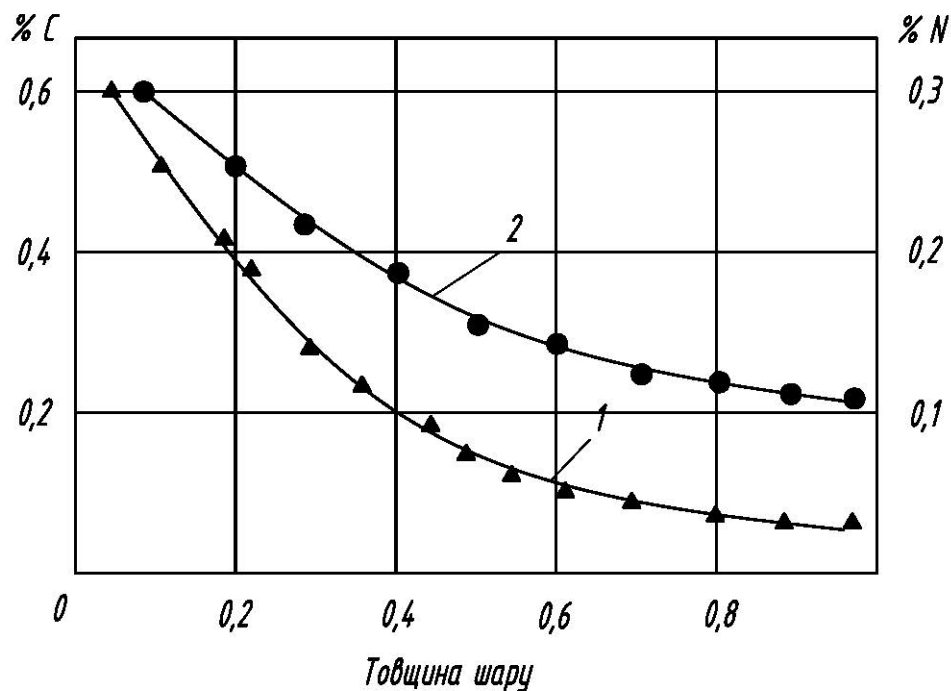


Рисунок 4.1 – Розподілення концентрації азоту (1) і вуглецю (2) по товщині нітроцементованого шару. Нітроцементация при 850°C 5,5 год.

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого шару складається з мартенситу, невеликої кількості карбонітридів і деякої кількості залишкового аустеніту (рисунок 4.2); структура серцевини з троостосорбіту, бейніту чи маловуглецевого мартенситу.

В нітроцементованому шарі нерідко допускається підвищена кількість залишкового аустеніту, що забезпечує гарну припрацьовуваність, автомобільних шестірень, що не шліфуються наприклад, що забезпечує їхню безшумну роботу. В сталі 20ХНМ кількість залишкового аустеніту складає 15...20 %.

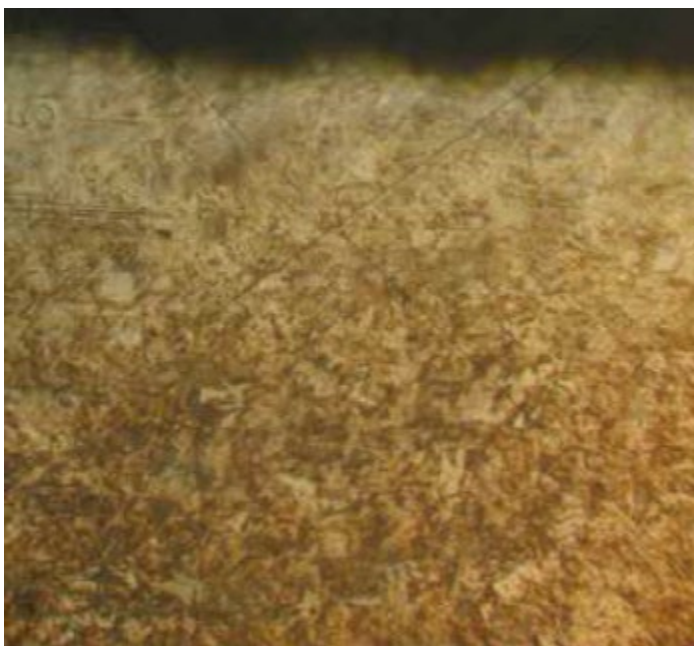


Рисунок 4.2 – Мікроструктура
нітроцементованого шару.
Протравлено.× 500

У тих випадках, коли виріб після нітроцементзації проходить шліфування, велика кількість залишкового аустеніту не бажана, тому що він не тільки знижує механічні властивості, але і сприяє утворенню тріщин при шліфуванні. Твердість шару складає 58...64 HRC. Розподіл твердості по товщині нітроцементованого шару показано на рисунку 4.3. Дослідження твердості проводилося за допомогою приладу ПМТ-3. при вимірюванні твердості Треба враховувати що Відстань між центрами відбитків має бути не менше двох діагоналей і відстань від краю зразка також повинна бути не менше двох діагоналей відбитка.

Знижена твердість на поверхні зв'язана з високим вмістом залишкового аустеніту до 40...50 %.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

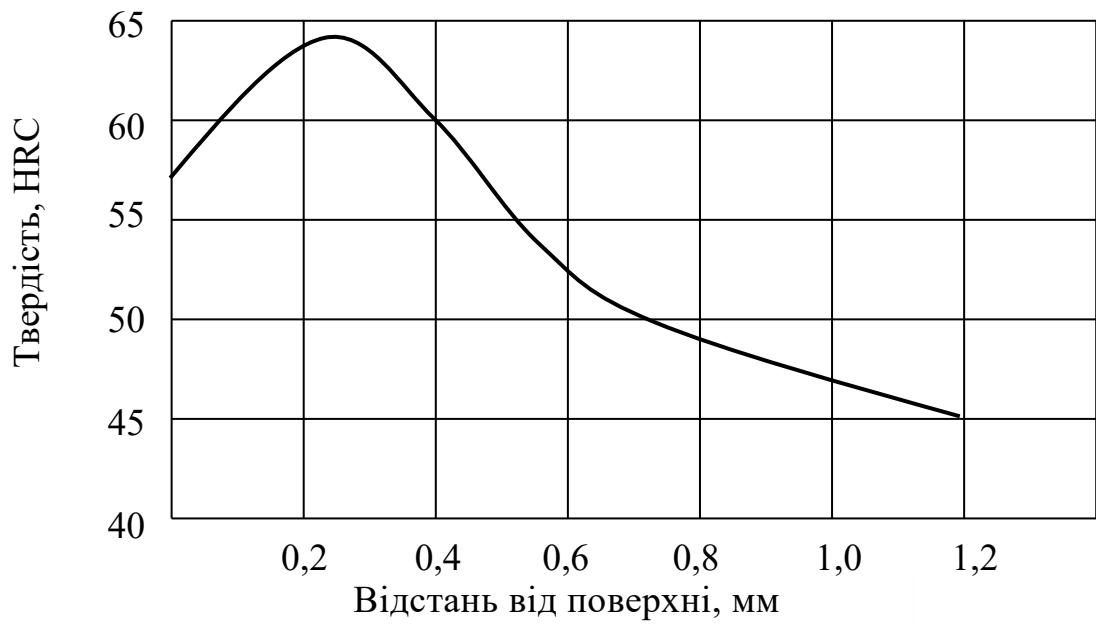


Рисунок 4.3 – Розподіл твердості по товщині нітроцементованого шару

При мартенситно-аустенітній структурі механічні властивості залежать від величини зерна. При зменшенні величини зерна з 2 до 14 бала зернистості межа втомності нітроцементованих зразків зростає в два рази, а міцність при згині в 1,7 рази. Усі методи подрібнення зерна сприяють підвищенню конструктивної міцності нітроцементованих виробів.

ВИСНОВКИ

В даній роботі проаналізовано хіміко-термічну обробку шестерень редуктора. В результаті аналізу запропоновано замінити операцію цементації на нітроцементацію. Це дозволяє зменшити час основної операції у два рази, без погіршення експлуатаційних властивостей деталей.

Проведені технологічні розрахунки часу нагріву і витримки шестерень редуктора зі сталі 20ХНМ.

Підібрано необхідне технологічне обладнання для реалізації технологічного процесу.

Спроектовано і проведено необхідні розрахунки допоміжного оснащення: фільтра для гартувальної оливи і гідравлічного штовхача.

Запропоновано використання прохідних полум'яних печей на газоподібному паливі замість електричних шахтних. Це дозволяє організувати поточну лінію термічної обробки шестерень і покращити логістику виробництва.

Визначено розподіл твердості по товщині нітроцементованого шару.

В цілому даний технологічний процес хіміко-термічної обробки шестерень редуктора може застосовуватися на підприємствах машинобудівної галузі.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія конструкційних матеріалів. Підручник/ М. Н. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. За ред.. М. Н. Сологуба – К.:Вища школа; 2002 – 374с.
2. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко та ін. – 2-ге вид., перер. і доп. – К. ІВЦ «Політехніка», 2002. – 384 с.
3. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство, розділ Матеріалознавство: Навчальний посібник / Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар, Я.О.Ковальчук, І.В. Коваль – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 157 с.
4. Металознавство: навчальний посібник / І. В. Прокопович. – Одеса: Екологія, 2020. – 308 с.
5. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів: підручник. – Л.: «Афіша», 2002. – 304 с.
6. Полянський П. М. Нітроцементация сталі / П. М. Полянський, Г.О. Іванов, М.П. Шульгін, А.А. Шутєєв // Матеріали 31 студентської науково-теоретичної конференції «Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни», 20-22 березня 2019 р., Миколаївський національний аграрний університет. – Миколаїв : МНАУ, 2019. – С. 82–86.
7. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 89 с.
8. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 171 с.
9. <https://www.splav-kharkov.com>
10. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів/В.В. Атаманюк. – К.: Кондор, 2016. – 528 с.
11. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с.

					MP 1224.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

13. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія і практика термообробки» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, за освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» всіх форм навчання / Укладач: Лисенко О.Б. – Кам'янське: ДДТУ, 2019.– 124 с.

14. Термічна обробка: методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітніх програм «Матеріалознавство» та «Індустріальний інжиніринг та менеджмент» спеціальності 132 Матеріалознавство, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. Н.П. Зайчук., Ю.П. Фещук Луцьк: ЛНТУ, 2022. – 74 с.

15. Устаткування процесів теплової обробки. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів спеціальності 6.090100 – “Прикладне матеріалознавство” для всіх форм навчання/ С.В.Мисковець, Ю.П.Фещук, О.Д.Клименко - Луцьк: ЛНТУ, 2009.- 44 с.

16. Устаткування процесів теплової обробки ОТ. [Текст]: конспект лекцій для студентів спеціальності 6.050403 "Інженерне матеріалознавство" денної та заочної форми навчання / уклад. С.В. Мисковець, Н.П. Зайчук. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – 100 с.

17. Деталі машин : Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М.Павлов., І. В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.

18. Кривуля О. М. Аналіз показників якості зубчатих коліс / Кривуля О. М. // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices») (ADED-2020) збірник студентських наукових статей (Випуск 2) – Харків: ХНУРЕ, 2020. – С. 48-52.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення [Текст]. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.

20. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Матеріалознавство», «Індустріальний інжиніринг та менеджмент» галузі знань 13 Механічна інженерія спеціальності 132 Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / уклад. М.Д. Мельничук, Ю.П. Фещук, Д.А. Гусачук, С.В. Мисковець. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 52 с.

					<i>MP 1224.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		