

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, інженерно-фізичний факультет,

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра фізичного матеріалознавства

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Визначення перспектив використання високопродуктивних
технологій ХТО в автомобільній промисловості

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи ІФ618м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Термічна обробка металів

Макухін Петро Петрович

(прізвище та ініціали)

Керівник Климов О.В., к.т.н., доцент

(прізвище та ініціали)

Рецензент Климов В.Г.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет фізико-технічний інститут, інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізичного матеріалознавства

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Термічна обробка металів

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Климов Олександр Володимирович
 « 18 » 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Макухін Петро Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Визначення перспектив використання високопродуктивних технологій ХТО в автомобільній промисловості

керівник проекту (роботи) Климов Олександр Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 18 » 20 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) дослідні зразки, мікроструктури зразків, умови експлуатації виробів автомобільної промисловості

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд, матеріали та методи дослідження, розробка технології хіміко-термічної обробки шестерні рульового управління, зміна розміру зерна конструкційної сталі під впливом нітроцементзації, ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, економічна частина.

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

Аналіз умов експлуатації виробу, обґрунтування вибору ХТО для шестерні рульового управління, карбіди і карбонітриди, матеріали дослідження, зміна розміру зерна конструкційної сталі під впливом нітроцементзації, зображення мікроструктури сталі 20Х2Н4А після нітроцементзації на різних відстанях від поверхні, ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей, будова зламів вторинних зразків

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Ткач Д.В., к.т.н., доцент каф. ФМ		
2	Ткач Д.В., к.т.н., доцент каф. ФМ		
3	Ткач Д.В., к.т.н., доцент каф. ФМ		
4	Нестеров О.В., к.т.н., доцент каф. ОП і НС		
5	Круглікова В.В., к.е.н., доцент каф. ПТБД	<i>10.09.19</i>	<i>17.12.19</i>
НК	Ткач Д.В., к.т.н., доцент каф. ФМ		

7. Дата видачі завдання «02» вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Легування, термічна обробка азотовних сталей. Зміна властивостей азотовних конструкційних сталей	03.09.2019	
2	Особливості застосування нітроцементация сталей	09.09.2019	
3	Особливості дифузійного насичення сталей та мікроструктура шару після нітроцементации	16.09.2019	
4	Вибір оптимальної глибини шару нітроцементации	23.09.2019	
5	Властивості шарів	01.10.2019	
6	Обґрунтування вибору ХТО для шестерні рульового управління	08.10.2019	
7	Матеріали та методи дослідження	22.10.2019	
8	Розробка технології хіміко-термічної обробки шестерні рульового управління	29.10.2019	
9	Зміна розміру зерна конструкційної сталі під впливом нітроцементации	12.11.2019	
10	Ударно-циклічна витривалість нітроцементірованих сталей	26.11.2019	
11	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	06.12.2019	
12	Економічна частина	10.12.2019	

Студент(ка)



(підпис)

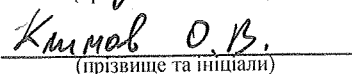


(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)



(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи містить: 100 с., 31 рис., 24 табл., 1 додаток, 18 джерел.

Мета даного дипломного проекту – розробка раціональної технології ХТО для застосування в автомобільній промисловості.

В роботі досліджено особливості застосування нітроцементациї виробів автомобільної промисловості. Розроблено технологію термічної обробки виробів автомобільної промисловості. Досліджено вплив нітроцементациї на структуру та властивості конструкційних сталей. Розроблені заходи для забезпечення охорони праці. Розрахована економічна ефективність проекту.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВІДПУСКАННЯ, ОБЛАДНАННЯ, АЗОТУВАННЯ, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕМПЕРАТУРА.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Літературний огляд	8
1.1 Легування, термічна обробка азотовних сталей. Зміна властивостей азотовних конструкційних сталей	8
1.2 Особливості застосування нітроцементация сталей.....	19
1.3 Особливості дифузійного насичення сталей та мікроструктура шару після нітроцементации.....	24
1.4 Вибір оптимальної глибини шару нітроцементации.....	26
1.5 Властивості шарів	28
1.5 Обґрунтування вибору ХТО для шестерні рульового управління	29
2 Матеріали та методи дослідження	40
2.1 Матеріали дослідження	40
2.2 Дослідження мікроструктури	43
2.3 Дослідження ударно-циклічної витривалості	44
3 Результати дослідження	45
3.1 Розробка технології хіміко-термічної обробки шестерні рульового управління.....	45
3.1.1 Аналіз умов експлуатації виробу	45
3.1.2 Номенклатура виробів зі сталей, які зміцнюються нітроцементацией ..	47
3.1.3 Розробка режимів та технології термічної обробки	49
3.1.4 Вибір та розрахунки кількості обладнання	53
3.1.5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	58
3.2 Зміна розміру зерна конструкційної сталі під впливом нітроцементации..	62
3.3 Ударно-циклічна витривалість нітроцементірованих сталей.....	66
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	70
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	70

4.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Заходи із забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці	Ошибка! Закладка не определена.
4.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки	Ошибка! Закладка не определена.
4.5 Заходи з цивільної оборони.....	Ошибка! Закладка не определена.
5 Економічна частина.....	79
5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій хіміко-термічної обробки	79
5.2 Визначення трудомісткості та тривалості роботи	80
5.3 Підрахування кількості витрат на практичну реалізацію проекту	83
5.3.1 Обладнання для виконання науково-дослідницької роботи.....	83
5.3.2 Розрахунок вартості матеріалів	85
5.3.3 Розрахунок заробітної плати.....	85
5.3.4 Відрахування на єдиний соціальний внесок	86
5.3.5 Накладні витрати.....	87
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково – дослідницької роботи, яка має суто теоретичний характер	88
Висновки	93
Перелік посилань.....	95

ВСТУП

Зубчасті передачі відносяться до деталей приводної техніки, що піддаються значним циклічним навантаженням. В умовах високих окружних швидкостей і переданих потужностей зубчасті передачі повинні мати відповідні міцностні властивості. Об'єктивним критерієм оцінки міцності є згинна і контактна витривалість зубів.

Для забезпечення високих експлуатаційних властивостей зубчасті колеса піддають хіміко-термічній обробці (ХТО). Хіміко-термічна обробка являє собою сукупність процесів теплового і хімічного впливів, спрямованих на зміну хімічного складу і структури поверхневого шару зубчастих коліс. Вона характеризується введенням в поверхневий шар металу завдяки хімічній реакції різних елементів із зовнішнього середовища: вуглецю, азоту, кисню, кремнію і ін. При цьому на поверхні зубчастих коліс утворюється твердий дифузний шар, який у міру поглиблення характеризується падінням концентрації дифундують елементів і мікротвердості. Для ефективного зміцнення поверхні зубчастих коліс часто застосовують цементацію і нітроцементацію, рідше азотування.

Контактна витривалість зубів характеризується опором типовим відмов робочих поверхонь зубів - пітінгу (викришування поверхонь зубів у вигляді ямок) і мікротріщин, а також зносу під дією контактних напружень. При цьому велике значення має рівномірний знос по всій поверхні зуба, який досягається за рахунок модифікацій за профілем і довжині зуба. Так зване «пляма контакту» - площа контакту на поверхні зубів при зачепленні повинна займати максимальну площу, але не виходити на крайки зубів навіть при максимальних навантаженнях.

Підвищенню опору поверхонь зубів зносу під дією контактних напружень сприяє також наявність у поверхневих шарах зубів залишкових внутрішніх напружень стиску глибиною до 0,02 мм.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Хіміко – термічна обробка дозволяє отримати в поверхневому шарі практично будь-який склад, а відповідно і забезпечити комплекс необхідних властивостей (фізичних, хімічних, механічних)

Метою ХТО є поверхнєве зміцнення сталей та сплавів (підвищується твердість поверхні сталей, зносостійкість, втомна міцність, жаростійкість та інші характеристики), а також надання їм підвищеної стійкості проти дії агресивних середовищ при дії різних температур: підвищення стійкості проти корозії, ерозії, жаростійкість.

1.1 Легування, термічна обробка азотовних сталей. Зміна властивостей азотовних конструкційних сталей

Азотуванням називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом. Азотування дуже сильно підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, границю текучості і опір корозії в таких середовищах, як атмосфера, вода, пара та ін. Твердість азотованого шару помітно вище ,чим твердість цементованого, та зберігається при нагріві до високих температур (450-500 °С), тоді твердість азотованого шару ,який має мартенситну структуру, зберігається тільки до 200-225 °С.

Якщо головними вимогами ,висунутими до азотованого шару ,є висока твердість на поверхні та зносостійкість, то використовують сталь 38Х2МЮА, яка містить 0,35-0,45% С; 1,35-1,65% Сг; 0,7-1,10% Аl та 0,15-0,25% Мо, інше Fe. Одночасна присутність алюмінію, хрому та молібдену дозволяє підвищити твердість азотованого шару на поверхні до 1200 НV.

Молібден видаляє відпускну крихкість, яка може виникнути при повільному охолодженні від температури азотування.

Однак алюміній надає азотованому шару підвищену крихкість. Тому все ширше використовують сталі, леговані Cr (1-3%), Mo (0,2-0,4%), V (до 1,0-1,2%). Ці сталі мають пониженої твердість на поверхні 700-950 HV.

При азотуванні легувальні елементи сталі змінюють розчинність азоту в α -фазі, розчиняються в γ , та ϵ -фазах, а також утворюють самостійні нітриди. Перехідні елементи вольфрам, молібден, хром, титан, ванадій розчиняючись в фериті, підвищують розчинність азоту α -фазі. Наприклад, при температурі 550°C, при вмісті в фериті молібдену 1,2% по масі вмісту азоту в α -фазі досягає 0,62%, а при 6,54% Mo-0,73%. Азотування фериту, який містить 2,39% ванадію, при 500°C дозволяє отримати α -фазу з концентрацією 1,5% N, а при вмісті 8 % V-3,0%N. Розчинність азоту в фериті легованої конструкційної сталі 38ХМЮА складає 0,2-0,5 %.

Алюміній при низьких температурах азотування практично не змінює розчинність азоту в α -фазі.

Зносостійкість азотованої сталі вище, чим зносостійкість цементованої та загартованої. В азотованому шарі утворюються залишкові напруження стиснення, величина яких на поверхні складає 600-800 МПа. Це підвищує границю витривалості і переносить осередок втомного руйнування під азотований шар. Границя витривалості гладких зразків зростає на 30-40%, а при наявності концентрацій напружень – більше 100%.

Сталь широко використовують для зубчатих колес, гільз циліндрів, втулок, діафрагм та інших деталей.

Технологія процесу азотування. Технологічний процес передбачає декілька операцій, наведених нижче.

Попередня термічна обробка заготовки. Ця операція складається з гартування та високотемпературного відпуску сталі для отримання підвищеної надійності та в'язкості в серцевині виробу.

Відпуск проводять при температурі 600-700 °С, яка перевищує максимальну температуру наступного азотування та забезпечує отримання твердості, при якій сталь оброблювати різанням. Структура сталі після цього відпуску – сорбіт.

При проведенні термічної обробки сталі 38ХМЮА необхідно враховувати, що вона схильна до знеуглецювання. Внаслідок цього заготовки повинні мати достатні припуски на оброблення (2-3 мм), які б гарантували повне знеуглецювання шару. Наявність знеуглецьованого шару недопустимо, так як він служить причиною «лущення» азотованої поверхні. Гартування проводять при температурі 930-950 °С в воді (для крупних виробів) або в маслі.

Для деталей малої жорсткості перед кінцевою механічною обробкою проводять стабілізаційний відпуск на протязі 3-10 годин при 550-600°С з наступним повільним охолодженням. Сталь 38ХМЮА забезпечує найбільшу твердість азотованого шару до НV 1100-1200. В разі азотування сталі 38ХМЮА при температурах нижче евтектоїдної на поверхні дифузійного шару (рис. 1.1) утворюється ϵ - фаза, яка при охолодженні перетерплює розпад з виділенням легованої γ -фази (Fe, M) N.

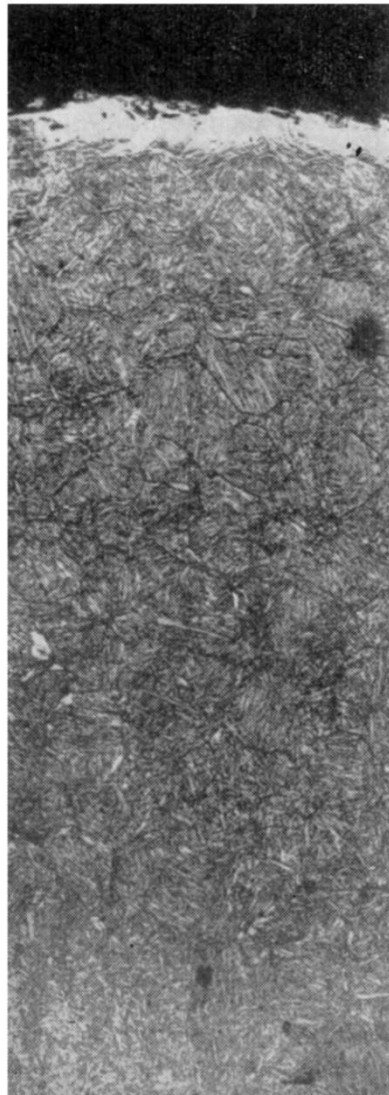


Рисунок 1.1 - Мікроструктура азотованого шару ,отриманого на сталі 38ХМЮА,×200.

Безпосередньо до шару сумісних нітрідів виявлених під мікроскопом в виді білого нетравленого шару, прилягає область, в якій рентгенівський аналіз фіксує трьохфазний стан $\epsilon + \gamma + \alpha$. Одночасна присутність ϵ та α пояснюється рухом ϵ - фази по границям зерен. Основна частина шару, яка виявляється в виді більш сильно травленій зоні, яка складається з азотної α -фази, збідненої легованими елементами, карбідів M_3C , залишковою γ -фазою $[(Fe,M)]N$ та можливо тяжкого нітрида легувальних елементів з решіткою $B1$, це пов'язано з виникненням метастабільного нітрида алюмінію, так як стабільний нітрид AlN має гексагональну структуру.

Утворення нітрида з структурою В1, навіть якщо стабільний нітрид має іншу решітку, пояснюється кристало-геометричним співвідношенням і пов'язаної з ним кінетикою формування нітридів. Концентрація азоту в α -фазі досягає 0,3-0,5%.

Дисперсні нітриди легувальних елементів при звичайних прийнятих збільшеннях мікроструктури не видимі (рис. 1.2 та 1.3)

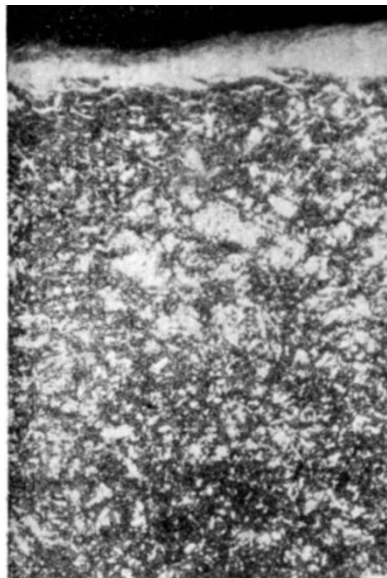


Рисунок 1.2 - Мікроструктура азотованого шару сталі 38ХМЮА

Температура та тривалість азотування впливають на товщину азотованого шару і твердість. Найвища твердість HV 1100-1200 досягається при температурі 500-520°C. З підвищенням температури твердість дуже знижується і при температурі 600 °C складає HV 750-800. Висока твердість на поверхні азотованого шару за короткий інтервал часу (15-30 хв), але потрібно мати на увазі, що при випробуванні на приборі Віккерса навіть при малому навантаженні (5МПа) твердість при коротких витримках виявляється пониженою. Це пояснюється продавлюванням алмазним індентором тонкого дифузійного шару.

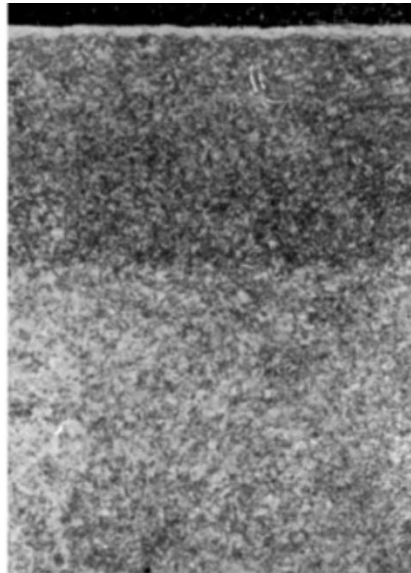


Рисунок 1.3 - Мікроструктура зони азотованого шару сталі з 38ХМЮА з нітридною корочкою.

При практичному проведенні процесу азотування дуже короткі витримки не варто рекомендувати, так як завжди необхідно-розповсюдження високої твердості на деяку товщину. Чим вище температура дифузії, тим менший час азотування для отримання зміцненого шару (рис. 2.4). Мінімальна витримка при температурі 520°C повинна бути 8 – 10 годин, при 550°C – 5-6 год, при 600°C – 1-3 год.

Зміна загальної товщини шару при даній температурі підчиняється параболічному закону. Збільшення тривалості більше як 90 - 100 год практично не викликає збільшення технічної товщини шару. Максимальна товщина шару на сталі 38ХМЮА не перевищує 1,0 мм. Товщина зони сумісних нітрідів при 520 °C не перевищує 0,02-0,025 мм , зростаючи до 0,03-0,05 мм в разі азотування до 600°C.

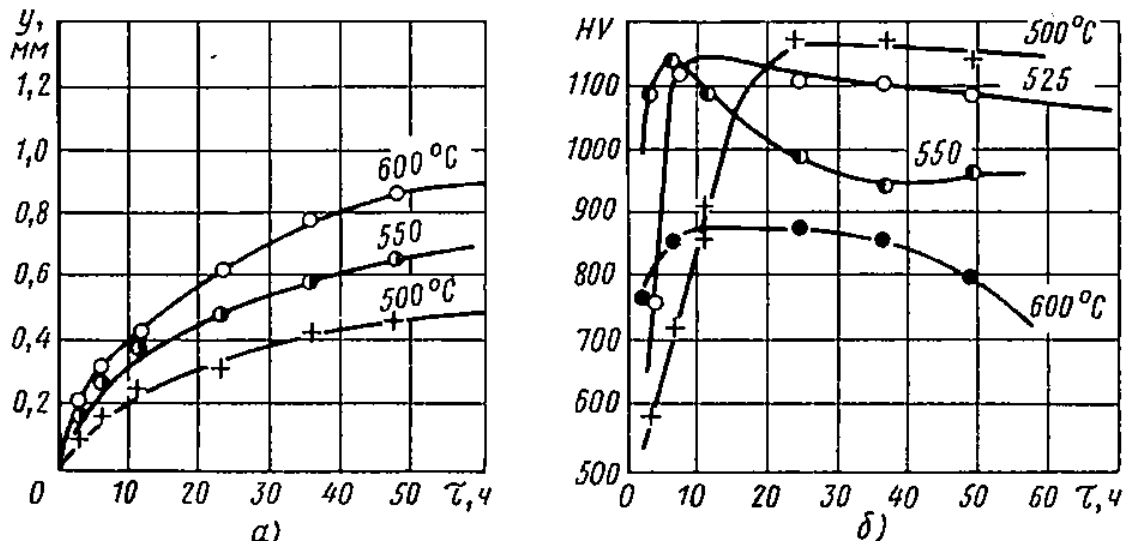


Рисунок 1.4 - Вплив температури і тривалість азотування на твердість і глибину азотованого шару на сталі 38ХМЮА

Розвинення зони сумісних нітридів та особливо нітридної сітки небажано, так як супроводжується крихкістю шару. Однак потрібно мати на увазі що при підвищенні температури азотування до 560-600°C, не дивлячись на збільшення зони ϵ -фази, крихкість знижується. Це пояснюється зменшенням вмісту азоту в ϵ -фазі з 9,5-11,0% в разі азотування при 500-520°C з 7-7,5% N при 600°C за рахунок інтенсивної дифузії його з поверхні в глибину матриці при високих температурах.

Характер зміни твердості по товщині азотованого шару після насичення азотом при різних температурах наведено на (рис. 1.5).

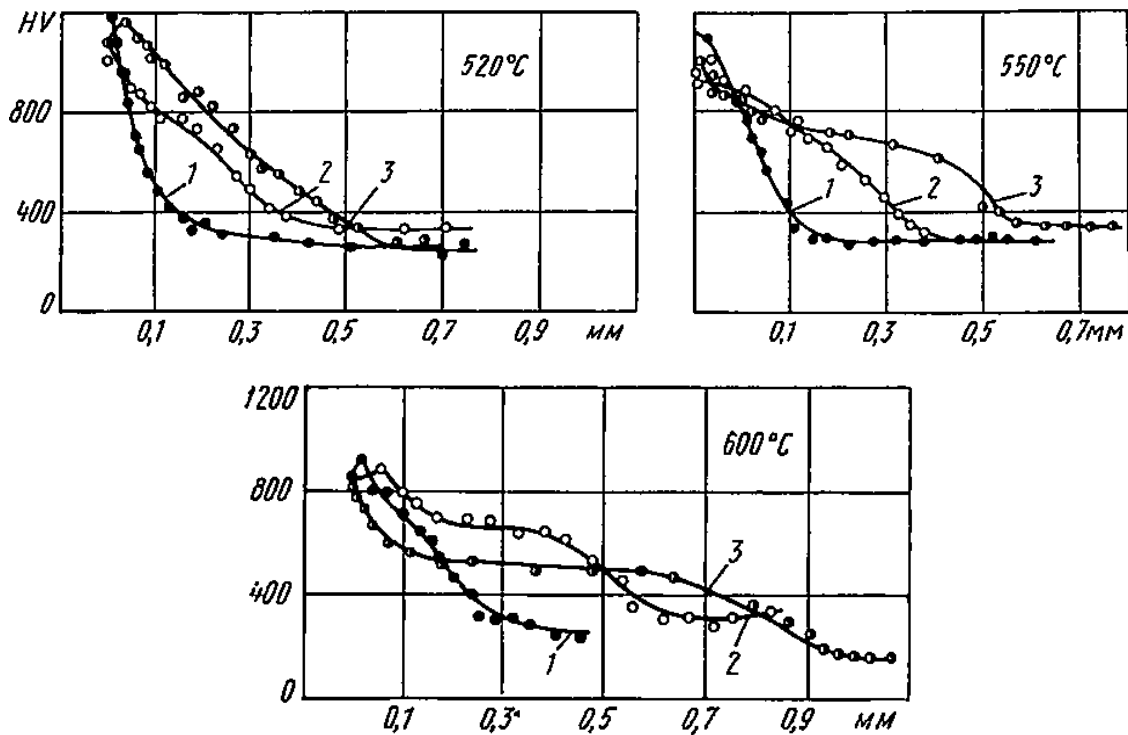


Рисунок 1.5 - Розподілення твердості по глибині дифузійного шару сталі 38ХМЮА при різних режимах азотування.

Чим вища температура азотування, тим менш різке падіння твердості по товщині азотованого шару. Результати процесу азотування (твердість і товщина шару) мало залежать від попередньої термічної обробки. Як зазначалося раніше, азотований шар на сталі 38ХМЮА володіє найбільш високою зносостійкістю після насичення його азотом при температурі вище евтектоїдної. В зв'язку з цим для скорочення тривалості процесу та підвищення зносостійкості виробу із сталі 38ХМЮА потрібно азотувати при температурі 620°C. Але цей процес може бути рекомендований тільки для виробів простої форми, не схильної до деформації і не працюючих в умовах втоми. Гідність азотованого шару – зберігання високої твердості при нагріві до високих температур. Ця особливість азотованого шару розширює область застосування і дає хороші результати в боротьбі з зносом деталей, працюючих при підвищених температурах. Твердість по товщині азотованого шару з підвищенням температури випробування зменшується (рис. 1.6).

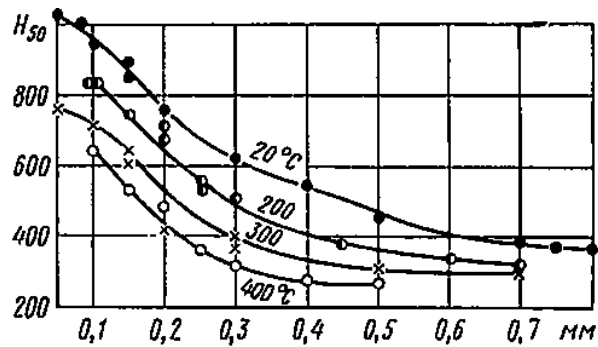


Рисунок 1.6 - Зміна мікротвердості по глибині дифузійного шару сталі 38ХМЮА в залежності від температури випробування

Нагрів сталі 38ХМЮА до 400°C хоч і супроводжується зниженням твердості, але вона ще зберігається на недостатньо високому рівні HV 600. Подальше підвищення температури призводить до різкого падіння твердості, що не дозволяє використання азотованої сталі 38ХМЮА при температурах вище 400-450°C.

Коефіцієнт тертя азотованої сталі з 0,7 при 20°C до 0,1 при 600 °C, знос незначний та складає при 560°C на сталі 38ХМЮА 1,7 мг/м · см². В результаті азотування значно підвищується задиристійкість як при кімнатній так і при підвищених температурах (400-500°C). Азотування сталі 38ХМЮА при умовах видалення шліфуванням з поверхні крихкої ε-фази значно підвищує кавітаційну стійкість.

Для виготовлення дуже навантажених крупних деталей сталь 38ХМЮА не використовують. Повна прогартуванність цієї сталі досягається при діаметрі, який не перевищує 50 мм. Крім цього, механічні властивості сталі 38ХМЮА порівняно невисокі.

Наявність в сталі 38ХМЮА алюмінію ускладнює технологію виробництва обробки та азотування сталі. Сталям з високим вмістом алюмінію властиві наступні дефекти металургійного характеру: стовбчатий злом, забрудненість неметалічними включеннями, утворення дрібних тріщин і волосовин.

При гарячій механічній обробці сталі типа 38ХМЮА іноді проявляють схильність до перегріву, який визиває зниження опору крихкому руйнуванню.

Висока якість азотованого шару досягається в сталі, яка не містить доевтектоїдного фериту. При термічній обробці сталь 38ХМЮА досить чутлива до зміни вмісту в границях рамки. В залежності від співвідношення між вмістом вуглецю, хрому, молібдену та алюмінію сталь 38ХМЮА володіє недостатньою прогартовуваністю або , проявляє схильність до утворення тріщин при гартуванні у воді. Обумовлені підвищеним критичним інтервалом високі температури нагріву (950-970°C) при термічній обробці викликають інтенсивне знеуглецювання, а як наслідок цього-збільшення припусків, які видаляються при обробці різанням. Азотований шар на сталі 38ХМЮА, який містить алюміній на верхній границі, володіє більшою крихкістю. Після шліфування на азотованій поверхні сталі 38ХМЮА нерідко можна спостерігати точкове викришування шару на глибину до 0,05 мм. Частіше викришування утворюється по грубій нітридній сітці, яка виникає ,якщо сталь має крупне зерно. Зниження температури гартування з 950 до 900°C зменшує схильність до утворення викришування, шліфованим тріщинам та зколу шару.

Чим менша твердість і вміст азоту в дифузійному шарі ,тим вищий опір його крихкому руйнуванню.

Високочастотний нагрів ,який веде до утворення дрібного зерна (8-12 балів), видаляє викришування на шліфованій поверхні. Чим менші стискаючі напруження, тим менша вірогідність утворення викришування.

Вироби із сталі 38ХМЮА в процесі азотування знаходять більшу схильність до деформації.

В тих випадках, коли вироби підлягають фінішній механічній обробці після азотування, може бути вигідним отримати дифузійний шар з пониженою твердістю на поверхні, але більш плавно спадаючій по його товщині твердістю.

Максимальне зміцнення (твердість HV 1000-1100) в сталі 38ХМЮА досягається при азотуванні при 500°C, коли утворюються одношарові по азоту виділення, повністю когерентні з решіткою твердого розчину.

При азотуванні при температурі 560°C твердість знижується до HV 900-950, а структура при цьому характеризується збільшенням розмірів нітридів до 50-100 А.

Легування сталі декількома елементами призводить до спотворення матриці азотованого шару, а як наслідок цього до досягнення більшої твердості азотованого шару, чим при легуванні одним елементом. Комплексне легування дозволяє отримати високу твердість на аустенітних сталях. Висока твердість азотованого шару пов'язана не тільки з процесами виділення та утворення нітридів при азотуванні, але й з великою розчинністю азоту в фериті, легуючим перехідним металом. Чим вища степінь насичення фериту азотом, тим більша його твердість. Розчинений азот призводить до розвинення високого рівня мікронапружень. Експериментально показано, що в період охолодження після азотування відмічається помітне підвищення твердості.

Прийнято враховувати, що чим вище твердість азотованого шару, тим краща зносостійкість. Найбільша зносостійкість не співпадає з максимальною твердістю (рис. 1.7)

Дослідження зносостійкості азотованого шару сталі 38ХМЮА показало, що найбільша зносостійкість не співпадає з максимальною твердістю і знаходиться на більшій глибині. З підвищенням температури насичення та тривалості процесу ця невідповідність зростає. Зносостійкість сталі 38ХМЮА азотованою при більш високих температурах (620°C), значно перевищує зносостійкість тих сталей при 560°C, не дивлячись на меншу твердість.

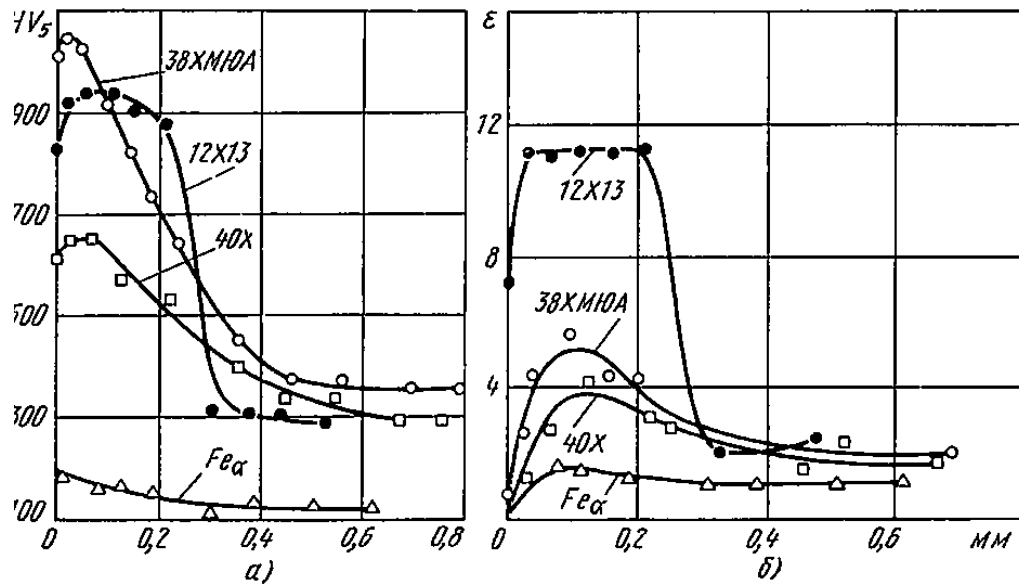


Рисунок 1.7 - Зміна твердості HV (а) та відносної зносостійкості ϵ (б) по глибині азотованого шару сталі 38ХМЮА та технічно чистого заліза.

1.2 Особливості застосування нітроцементатія сталей

Роль зміцнення поверхневих шарів в довговічності виробів особливо зростає, так як розвиток більшості галузей промисловості пов'язано із підвищенням навантажень, температур, агресивності середовищ, в яких вироби експлуатуються.

Змінити властивості поверхні в необхідному напрямку можна різними методами. Їх можна умовно розділити на два види:

- 1) нанесення на поверхню іншого металу з необхідними властивостями;
- 2) зміна складу поверхневого шару металу, що забезпечує бажану зміну властивостей.

Для виробів високо навантажених та тих, що працюють при значних температурах, та вимагають при цьому високої точності поверхні

використовується ХТО, в результаті якої на поверхні виробу утворюється новий сплав, що відрізняється від серцевини.

Використання нітроцементациї з метою зміцнення поверхневих шарів зубців шестерен в теперішньому часі має все більше використання в авіабудуванні.

Перевага процесу нітроцементациї в порівнянні з цементациєю по технологічності безсуперечне:

- більш низькі температури насичення;
- більш високі швидкості одночасного насичення вуглецем та азотом;
- можливість використання безпосереднього гарту для більш широкого класу теплостійких сталей.

Окрім цього, важливе значення має також отримання більш високого комплексу механічних властивостей при нітроцементациї.

При нітроцементациї азот, дифундуючи в сталь разом з вуглецем, зменшує температурну область існування γ -заліза та істотно впливає на ступінь насичення поверхневого шару вуглецем та глибину дифузії вуглецю, сприяючи інтенсивному науглецюванню сталі при більш низьких температурах, ніж при цементациї.

Для забезпечення оптимальних показників міцності, концентрація вуглецю та азоту в шарі повинні регулюватися в певних межах.

Ступінь насичення нітроцементованого шару на поверхні доцільно характеризувати вмістом вуглецю та додатково сумою вуглецю та азоту ($C + N_2$)

Оптимальний вміст вуглецю визначається по різності оптимальною сумою ($C + N_2$) та оптимальним вмістом вуглецю. При високій азотуючій активності середовища формування шару протікає в дві стадії : з початку сталь насичується азотом до високих концентрацій, а на другій стадії відбувається розпад азотистих фаз з виділенням молекулярного азоту, що призводить до утворення внутрішніх пор в металі (темна складова).

На рисунку 1.8 наведено межі допустимої швидкості росту дифузійного шару при нітроцементациї в залежності від температури насичення та глибини шару, а також наведені дані середньостатистичні дані по швидкості насичення при твердій та газовій цементациї. Аналіз результатів показує, що не дивлячись на використання більш збіднених середовищ при нітроцементациї у випадку використання теплостійких сталей, швидкість утворення дифузійних шарів при нітроцементациї на 15 – 20 % вище, ніж при газовій цементациї та на 30-40% вище, ніж при твердій цементациї.

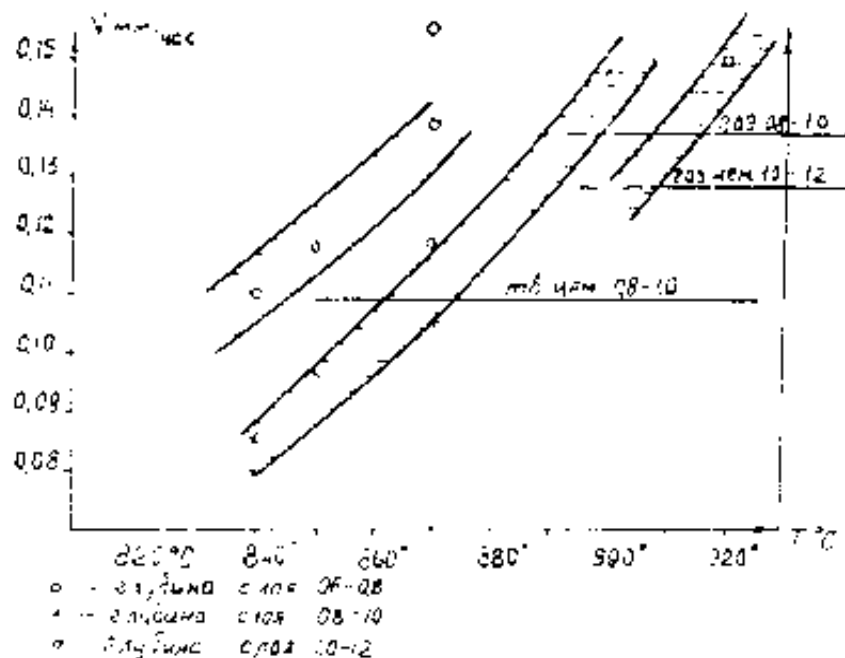


Рисунок 1.8 – Вплив температури на швидкість утворення дифузійного шару при різних глибинах шару

Підвищена швидкість утворення дифузійних шарів при нітроцементациї пояснюється наступними особливостями:

1. В зоні адсорбційного шару відбуваються реакції, що сприяють видаленню баластних часток з поверхні метал-газ та тим самим підвищує парціальний тиск реагентів;

2. при дифузії азоту в сталь різко знижується точка A_{c3} (кожні 0,5 % азоту дають зниження на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$), тому дифузія вуглецю починається та протікає при більш низькій температурі, ніж при цементації;

3. коефіцієнт дифузії вуглецю в сталь в присутності азота в 1,5- 2 рази вищий.

Підвищення температури нітроцементзації підвищує вміст вуглецю та зменшує вміст азоту.

Зниження активності нітроцементуючих середовищ по азоту при підвищенні температури можна спостерігати по зміні карбонітридній поверхневій зони в залежності від температури нітроцементзації. Залежність показано на рис. 1.9.

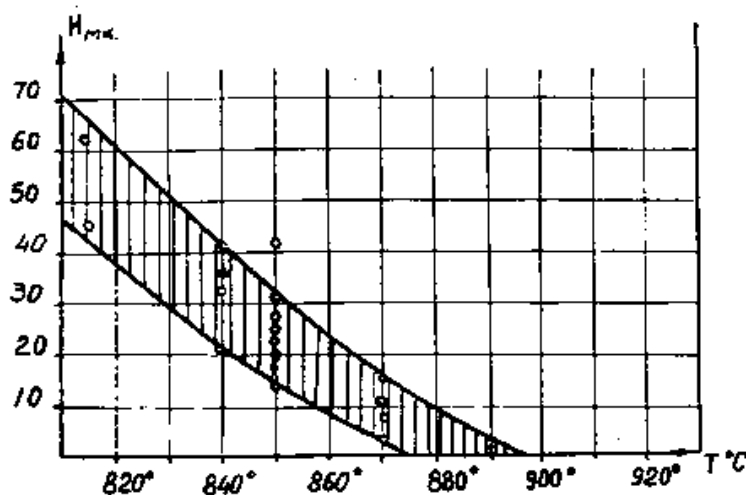
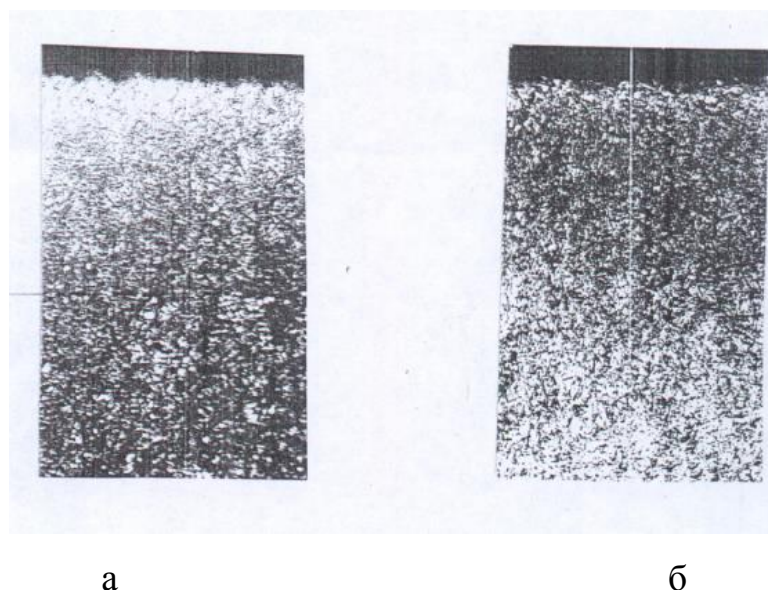


Рисунок 2.2 – Зміна глибини карбонітридної зони при різних температурах нітроцементзації.

Якщо нітроцементация проводиться при температурі $820\text{ }^{\circ}\text{C}$, то карбонітридна зона уявляє собою суцільну лінію, утворившися при достатньо активному середовищі, 50-60 мікрон, а при проведенні нітроцементзації при $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ практично повністю усуває карбонітридну фазу, і тільки при особливо активному середовищі карбонітридна зона уявляє собою окремо розташовані карбонітриди глибиною до 20 мікрон (рис 1.9)



а - температура насичення 820°C; б - температура насичення 870°C

Рисунок 1.9 – Мікроструктура нітроцементованого шару

Утворення карбонітридної фази та її кількість знаходиться також у прямій залежності вмісту вуглецю та азоту в шарі.

Мікроструктура нітроцементованого шару при оптимальних концентраціях вуглецю та азоту складається з мартенситу та остаточного аустеніту.

При контролі мікроструктури дифузійного шару слід враховувати, що при дуже низькій концентрації вуглецю та азоту в структурі шару по границям зерен мартенситу з'являється тростит. Разом цим, при дуже високій концентрації вуглецю та азоту в зовнішній зоні з'являються карбонітридні фази типу $Fe_3(CN)$ та підвищується кількість залишкового аустеніту. Все це призводить до зменшення міцності нітроцементованої сталі. Для забезпечення високої міцності нітроцементованої сталі необхідно регулювання ступеня насичення нітроцементовного шару вуглецем та азотом.

Структура нітроцементованого шару в залежності від температури та тривалості процесу може змінюватись в широких інтервалах. При температурах близько 700 °C в структурі спостерігаються дві зони, що різко

відрізняються. Перша, поверхнева зона, складається переважно із суміші ϵ – карбонітридів, з певною кількістю цементиту, в якому частина атомів вуглецю, заміщена атомами азоту. В другій зоні, знаходяться продукти розпаду азотистого аустеніту. З підвищенням температури, товщина першої зони зменшується, а загальна товщина шару збільшується. При температурі 850 °С перша зона практично відсутня, та структура повністю складається темних голок мартенситу, розташованих на світлому фоні залишкового аустеніту.

1.3 Особливості дифузійного насичення сталей та мікроструктура шару після нітроцементзації

Розглянемо 2 нітроцементовні марки сталі, що мають в своєму складі принципову різницю : сталь 20Х3МВФ в своєму складі має тільки карбідоутворюючі елементи, та сталь 14ХГСН2МА, що містить окрім карбідоутворюючих елементів, певну кількість нікелю, що підвищує коефіцієнт дифузії.

Швидкість росту глибини шару сталі 14ХГСН2МА на 15-20% вища за швидкість росту глибини шару на сталі 20Х3МВФ. Така незначна різниця в швидкості росту шару пов'язана з тим, що в дифузійному шарі, що має в своєму складі карбідоутворюючі елементи, є підвищений вміст вуглецю (рис. 1.10) і тому більш високий концентраційний напор по вуглецю в певному ступені компенсує зменшення коефіцієнту дифузії.

Значне підвищення вмісту вуглецю в дифузійному шарі сталі 20Х3МВФ пояснюється впливом карбідоутворюючих елементів на термодинамічну активність вуглецю в сталі. Всі карбідоутворюючі елементи знижують термодинамічну активність вуглецю в аустеніті, а термодинамічна активність прямо пропорційна парціальному тиску вуглецю над аустенітом. Таким чином, зменшуючи парціальний тиск вуглецю над аустенітом,

карбідоутворюючі елементи складають умови для підвищення вуглецевого потенціалу середовища.

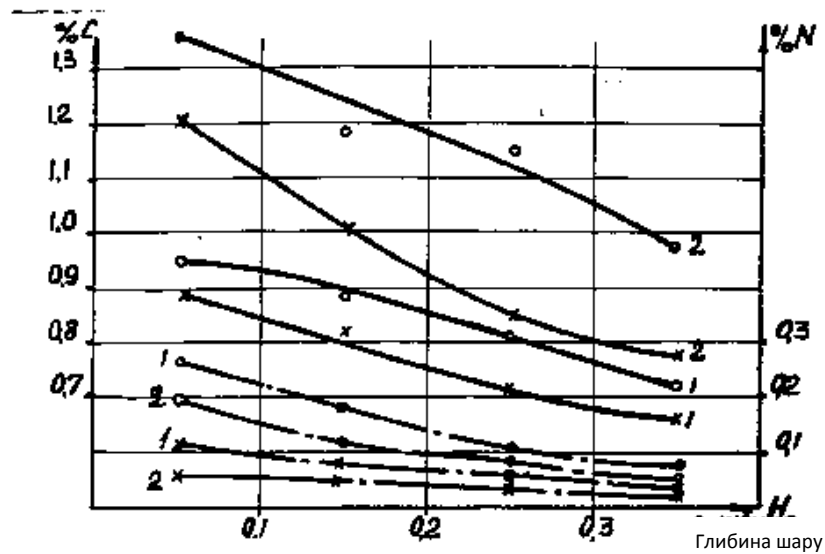


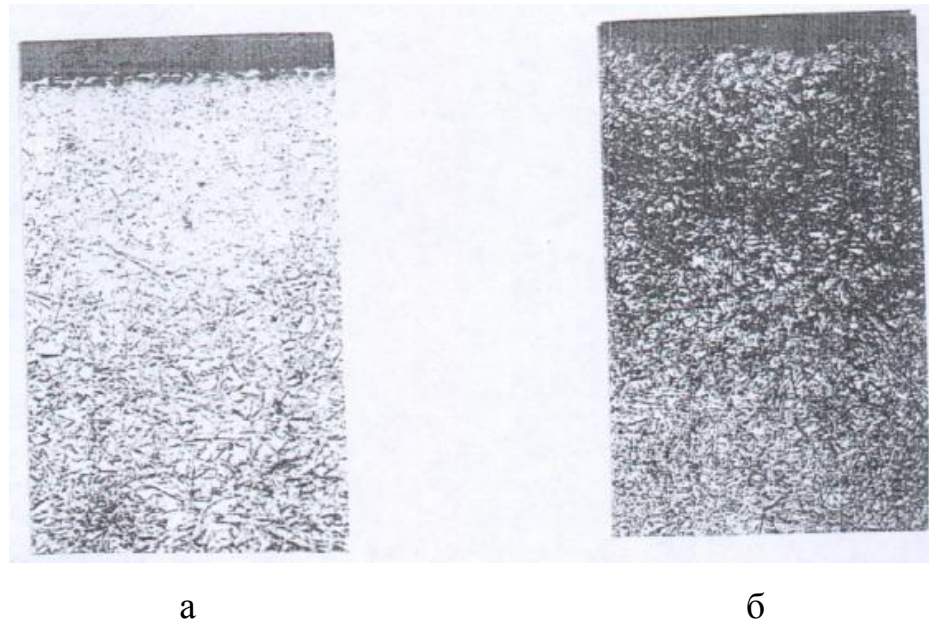
Рисунок 1.10 – Вміст вуглецю та азоту в дифузійному шарі теплостійких сталей 14ХГСН2МА та 20Х3МВФ.

Тобто при одному і тому ж складі науглецьовуючого середовища та при однаковому парціальному тиску середовища, вуглецевий потенціал для сталей з карбідоутворюючими елементами буде вище вуглецевого потенціалу для сталей, що містять кремній та нікель, що викликають підвищення термодинамічної активності вуглецю в аустеніті.

Ще одна особливість нітроцементатації теплостійких сталей пов'язана з сумісним насиченням вуглецем та азотом. Встановлено, що підвищення вмісту вуглецю в розчині підвищує термодинамічну активність азоту і таким чином зменшує азотний потенціал середовища, та, навпаки, підвищення вмісту азоту в розчині викликає підвищення термодинамічної активності вуглецю в аустеніті та зменшує вуглецевий потенціал середовища.

Тобто, якщо в складі теплостійкої сталі містяться елементи, що зменшують термодинамічну активність вуглецю в аустеніті, це призводить до підвищення вмісту вуглецю в шарі, в цей же час вміст азоту в дифузійному шарі зменшується.

Мікроструктура дифузійного шару (рис. 1.11) свідчить про інтенсивне утворення карбідів та карбонітридів на більш значній глибині шару у сталі з карбідоутворюючими елементами (20Х3МВФ)



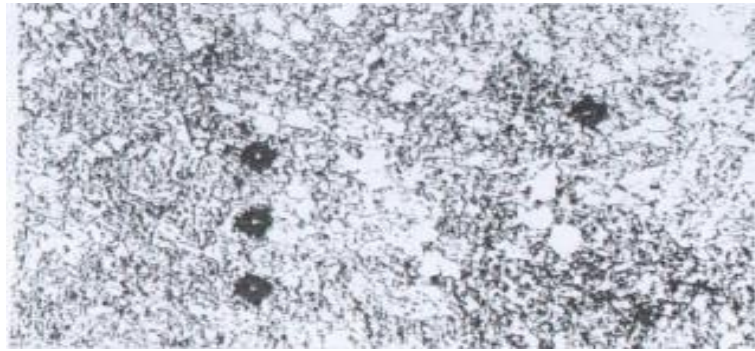
а - 14ХГСН2МА; б - 20Х3МВФ

Рисунок 1.11 – Мікроструктура нітроцементованої сталі

1.4 Вибір оптимальної глибини шару нітроцементзації

Найбільш високі показники (межа витривалості при статичному згині, ударна в'язкість та втомна міцність) при випробуванні зразків та шестерен відповідають глибині нітроцементованого шару 0,5-0,8 мм. Зменшити глибину нітроцементованого шару можна за рахунок підвищення твердості та міцності перехідної зони.

Мікроструктура перехідної зони, що визначає границю дифузійного шару при цементзації та нітроцементзації, наведено на рисунку 1.12



а



б

а - цементованого шару сталі; б - нітроцементованого шару

Рисунок 1.12 – Мікроструктура перехідного шару

Перехідна зона при нітроцементзації характеризується наявністю дрібнозернистого перліта з невеликими відрізками фериту. Подрібнення зерна перліта та особлива структура ферта пояснюється наявністю у фериті азоту. Мікроструктура перехідної зони після цементзації має звичайну ферито - перлітну суміш, де добре видно границю дифузійного шару, що визначається серединою перехідної зони.

Для визначення різниці в твердості та міцності перехідної зони після цементзації та нітроцементзації було проведено заміри твердості на загартованих зразках. Результати заміру наведено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Твердість перехідної зони нітроцементованого та цементованого шарів. (Нітроцементация з безпосереднім гарту, обробка холодом $-60^{\circ}C$, відпуск $230^{\circ}C$; Цементация, відпал, гарт, обробка холодом $-60^{\circ}C$, відпуск $230^{\circ}C$)

Це підтверджує можливість зниження глибини дифузійного шару при нітроцементации в порівнянні з цементацией.

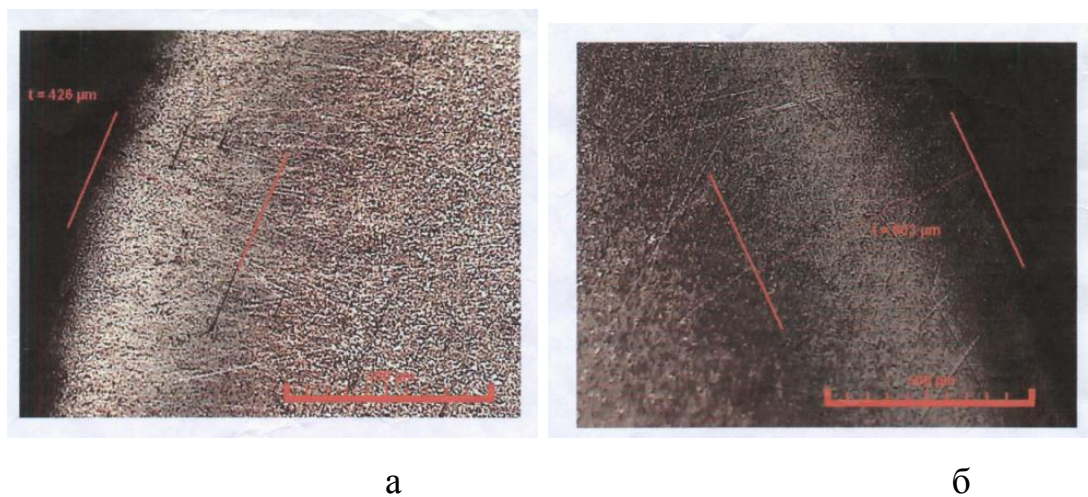
1.5 Властивості шарів

Твердість нітроцементованих шарів, як правило не перевищує на поліпшених легованих сталях $HV\ 700$. Однак, не зважаючи на порівняно невеликі значення мікротвердості, зносостійкість поверхні сталі після насичення різко підвищується.

З підвищенням вмісту азоту в шарі, ефект зчеплення при сухому терті менший, ніж у сталей, що не піддаються ХТО. Вуглець карбонітридного шару має таку ж дію. Наявність карбонітридного шару різко зменшує коефіцієнт тертя металу по металу, зменшує зчеплення та покращує припрацьовуваність.

Якість шарів при нітроцементации залежить від ступеня насичення поверхні вуглецем та азотом.

Значне зниження властивостей при збільшенні вмісту азоту пов'язано з утворенням в структурі нітроцементованого шару темної складової, що уявляє собою дрібну сітку пор (тріщин), що утворюються в результаті розпаду азотистих фаз та виділенням молекулярного азоту. Для нітроцементованого шару характерний високий вміст залишкового аустеніту (рис. 1.14). Він залежить від хімічного складу сталі. В легованій сталі він значно вищий ніж у вуглецевій. Марганець більш ефективно підвищує вміст залишкового аустеніта, ніж хром. Тому найбільша кількість залишкового аустеніту є в марганцевій сталі.



а - Сталь 12Х2Н4А; б - Сталь 14ХГСН2МА

Рисунок 1.14 – Мікроструктура поверхневого шару нітроцементованої сталі.

1.5 Обґрунтування вибору ХТО для шестерні рульового управління

Хіміко-термічну обробку широко застосовують для зміцнення деталей машин.

Шестерня рульового управління під час експлуатації може зношуватись різними способами, викришування кромek, втрата геометрії

через втрати мікрооб'єктів металу. Руйнування такого відповідного вузла може призвести до тяжких наслідків. Таким чином шестерня повинна мати в'язку серцевину та високу твердість поверхні, тому для шестерні необхідна така термічна обробка, як ХТО. Хіміко-термічна обробка підвищує твердість, зносостійкість, кавітаційну та корозійну стійкість і створює на поверхні сприятливі залишкові напруження стиснення, підвищує надійність і довговічність шестерні рульового керування.

В технології машинобудування використовують такі види ХТО, як: цементация, ціанування, азотування і нітроцементацию.

Цементацию проводять при температурах вище точки A_{c3} (930-950 °C), коли постійний аустеніт, розчинений у вуглеці у великій кількості.

Остаточні властивості цементовані вироби набувають в результаті гартування і низького відпуску, які проводять після цементации.

На цементацию деталі поступають після механічної обробки з припусками на шліфування (50-100 мкм).

При температурі цементации (вище точки A_{c3}) дифузійний шар складається тільки з аустеніту, а після повільного охолодження – із продуктів його розпаду – $\Phi + \Psi$. При цьому концентрація вуглецю не досягає межі насичення при даній температурі.

Цементований шар має змінну концентрацію вуглецю по товщині, яка зменшується від поверхні до серцевини деталі (рис. 1.15).

У зв'язку з цим після повільного охолодження в структурі цементованого шару можна визначити (від поверхні до серцевини) три зони : заевтектоїдну (1), яка складається з $\Pi + \Psi_{\Pi}$, який створює сітку по границях попереднього зерна A ; евтектоїдну (2), з одного пластинчатого перліту; доевтектоїдну зону (3) з $\Pi + \Phi$. Кількість фериту в цій зоні безперервно зростає при наближенні до серцевини.

За ефективну товщину цементованого шару приймають суму заевтектоїдної та половини перехідної (доевтектоїдної) зон (до вмісту 0,45 % C), що відповідає 50 HRC.

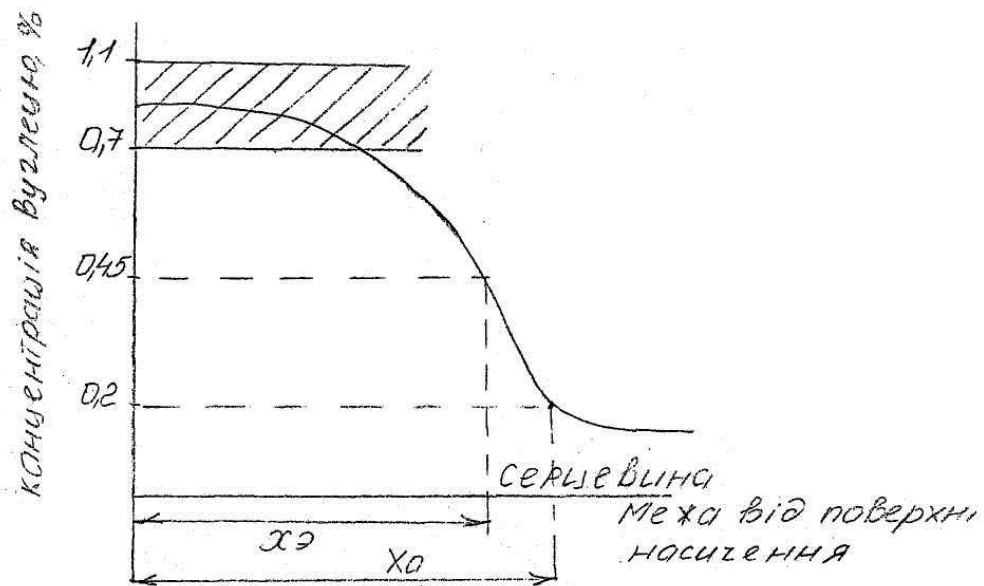


Рисунок 1.5 – Схема розподілення вуглецю по товщині цементованого шару

Цементация підвищує межу витривалості (σ_{-1}) сталейних виробів внаслідок створення у поверхневому шарі значних остаточних напружень стиснення (до 400-500 МПа) і різко знижує чутливість до концентраторів напружень.

Така ХТО, як азотування дуже сильно підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, межу витривалості і опір корозії в такому середовищі, як вода, пар та інші. Твердість азотованого шару значно вища ніж твердість цементованого, і залишається при нагріві до високих температур (450-500 °C), тоді як твердість цементованого шару, який має мартенситну структуру залишається тільки до 200-225 °C.

Якщо процес азотування проводити при температурі нижче евтектоїдної температури, то азот дифундує в α -фазу (азотистий ферит), а після досягнення межі розчинення утворюються нітриди Fe_4N (γ' -фаза) і $\text{Fe}_2\text{-}_3\text{N}$ (ϵ -фаза). При температурі насичення азотований шар складається із ϵ - γ' - α -фаз із $\epsilon + \gamma' \rightarrow \gamma' \rightarrow \alpha + \gamma'$ – фази.

При низьких температурах азотування в α – твердому, спочатку створюються сегрегації типу зон Гін'є-Престона. При більш високих температурах виникають дисперсні нітриди легуючих елементів (Cr, Mo, V та ін.). Зони Гін'є-Престона і виділення нітридів перешкоджають рух дислокацій і тим самим підвищують твердість азотованого шару. Найбільш сильно підвищують твердість Al, Cr, Mo і V. Товщину шару легуючі елементи зменшують.

Зносостійкість азотованої сталі вище, ніж зносостійкість цементованої і загартованої.

Також використовують таку ХТО, як ціанування. В цьому процесі вироби нагрівають до 820-860 °С в розчинених солях, які містять NaCN. Твердість ціанованого шару після термічної обробки HRC 58-62. Ціанований шар у порівнянні з цементованим володіє більш високою зносостійкістю.

Недоліком ціанування є висока коштовність, отруйність ціаністих солей і необхідність у зв'язку з цим прийняття спеціальних засобів з охорони праці.

Порівнюючи ці три методи ХТО можна зробити висновок, що для зміцнення поверхні шестерні рульового управління більш доцільно використовувати нітроцементацию.

Нітроцементациєю називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем та азотом при температурі 840-860 °С у газовому середовищі, яке складається з науглецевого газу і аміаку. Тривалість процесу 4-10 годин. Головне призначення нітроцементациї – підвищення твердості, зносостійкості і межі витривалості деталі.

Після нітроцементациї проводять гартування, після чого низький відпуск 160-180 °С.

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого шару повинна складатися з дрібнокристалічного мартенситу, невеликої кількості дрібних рівномірно розташованих карбонітридів і 30-50% залишкового аустеніту.

Твердість шару після гартування та низького відпуску 58-60 HRC; 570-690 HV. Високий вміст залишкового аустеніту забезпечує гарну приробляємість. Максимальні показники міцності досягаються при оптимальному для даної сталі вмісту на поверхні нітроцементованного шару вуглецю і азоту.

Азоту в шарі повинно бути не менше тієї кількості, що усуває шкідливі наслідки внутрішнього окислення (0,1-0,15%). При високому вмісті азоту (0,4-0,5%), в шарі виникає темна складова, яка виявляється на поверхні у вигляді темної точкової сітки, як видно на рисунку 1.16.

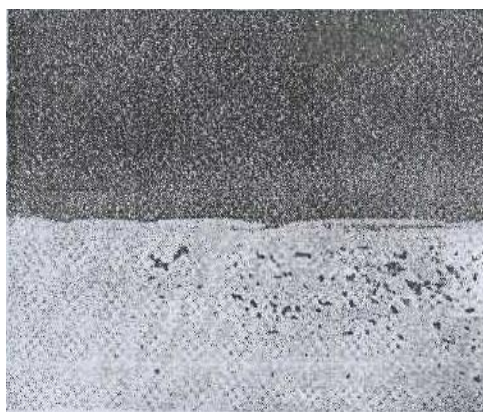


Рисунок 1.16 - Темна складова (x100)

Темна складова уявляє собою пори, які виникли в результаті виділення із твердого розчину молекулярного азоту під високим тиском. Темна складова знижує межу витривалості сталі на 30-70% і межу контактної витривалості у 5-6 разів. Цей дефект виявляється кінцевим браком. Оптимальний вміст вуглецю у сумі C+N залежить від марки сталі і знаходяться в широких межах (1,0-1,65%). При низькій концентрації вуглецю в структурі шару по границях зерн мартенситу виникає тростит (рис. 1.17).

Перехід вуглецю і легуючих елементів у карбонітриди знижує стійкість аустеніту, що також призводить до виникнення в шарі троститу. Виникнення

сітки карбонітридів та троститу знижує межу витривалості, пластичність і в'язкість сталі. Трооститна полоса, тростит у вигляді глобулів і троостична сітка на всю глибину шару не допускається. При оптимальній кількості аустеніту залишкового і відповідності твердості поверхні вимогами креслення допускається кількість в шарі троститу у вигляді тонких окремих виділень, орієнтованих по границях зерен.

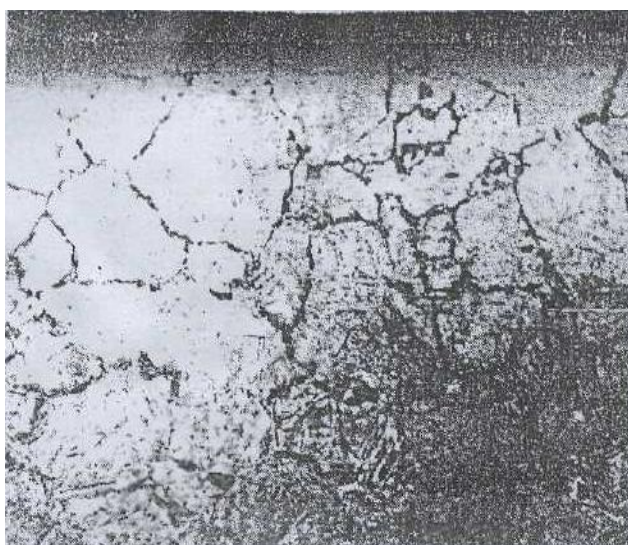


Рисунок 1.17 - Трооститна сітка (x200)

Товщина нітроцементованого шару складає 200-800 мкм. Вона не повинна перевищувати 1000 мкм. При більшій товщині створюється темна складова і інші дефекти, які знижують механічні властивості сталі.

Після термообробки структура шару безпосередньо біля поверхні насичення складається із гілок мартенситу відпуску, аустеніту залишкового і невеликої кількості дрібних рівномірно розташованих надлишкових карбідів (розміром до 1 мкм), присутність яких підвищує зносостійкість шару без зниження в'язкості руйнування і опору втоми.

Всі інші структурні складові являються дефективними, які свідчать (при вірних умовах гартування) про недостатнє або надлишкове насичення. Оптимальна мікроструктура шару, яка забезпечує найбільш високі

характеристики міцності, повинен бути скритогольчастий або дрібногольчастий мартенсит (тобто мартенсит 1-4 бала) ГОСТ 8233-56; після повільного охолодження – пластинчатий перліт.

В залежності від хімічного складу сталі, оптимальна мікроструктура серцевини уявляє собою: мало вуглецевий мартенсит, який забезпечує підвищену міцність і достатню в'язкість серцевини або мало вуглецевий мартенсит плюс тростит; у низько вуглецевих сталях: мало вуглецевий мартенсит + троостит + ферит.

Допускається гольчастість мікроструктури серцевини (тобто мартенсит 5-5,5 бала).

При недотриманні оптимальних параметрів процесу можуть утворюватися наступні дефекти, що негативно впливають на властивості.

Плівка оксидів і зона оксидних виділень. При товщині (глибині залягання) понад 0,015 мм значно знижується поверхнева твердість, межа витривалості і контактна втома міцності сталі. Дефект незворотній, частково може бути видален при шліфуванні.

Скупчення карбідної та карбонітридної фази у нітроцементованому шарі є структурною ознакою неприпустимо високого насичення шару вуглецем, внаслідок чого знижується межа втоми і межа міцності при статичному згині. Особливо сприяє зниженню механічних властивостей виникнення на поверхні суцільної зонископичення або сітки, яка складається з карбідів або карбонітридів (рис. 1.18).

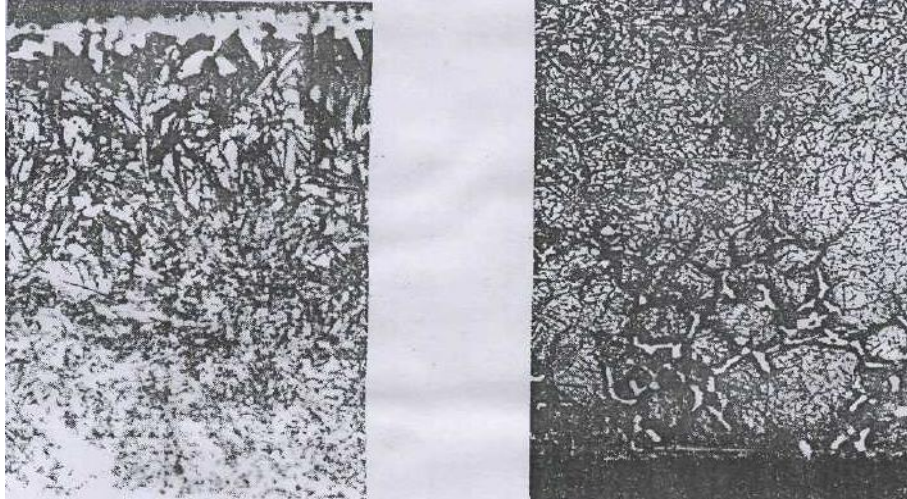


Рисунок 1.18 - Карбіди і карбонітриди (x200)

При надлишковому насиченні вуглецем, відмічається формування (біля поверхні на глибину в декілька мікрон) вузької полоси залишкового, легованого азотом, аустеніту, який вміщує невелику кількість мартенситу. При дослідженні на мікроскопі біла складова практично не виявляється.

При низькій концентрації вуглецю або азоту, тобто при недостатньому насиченні, у структурі шару по границях зерен виникає троостит. При виникненні в шарі карбідів, карбонітридів, окислів легуючих елементів також виникає троостит у вигляді суцільної смуги або сітки по границях зерен. У ряді випадків, при охолодженні в маслі виникає троостит у вигляді глобулів. Утворення трооститу сприяє зниженню міцності навіть при високій твердості шару (рис. 1.19).



Рисунок 1.19 - Вміст трооститу (x200)

Також існує аномальна структура. Аномальний вигляд мікроструктури полягає у формуванні роздільного евтектоїду поряд існує структурно вільний ферит у вигляді сітки, оточуючий сітку цементиту, або у вигляді окремих включень (рис. 1.20).

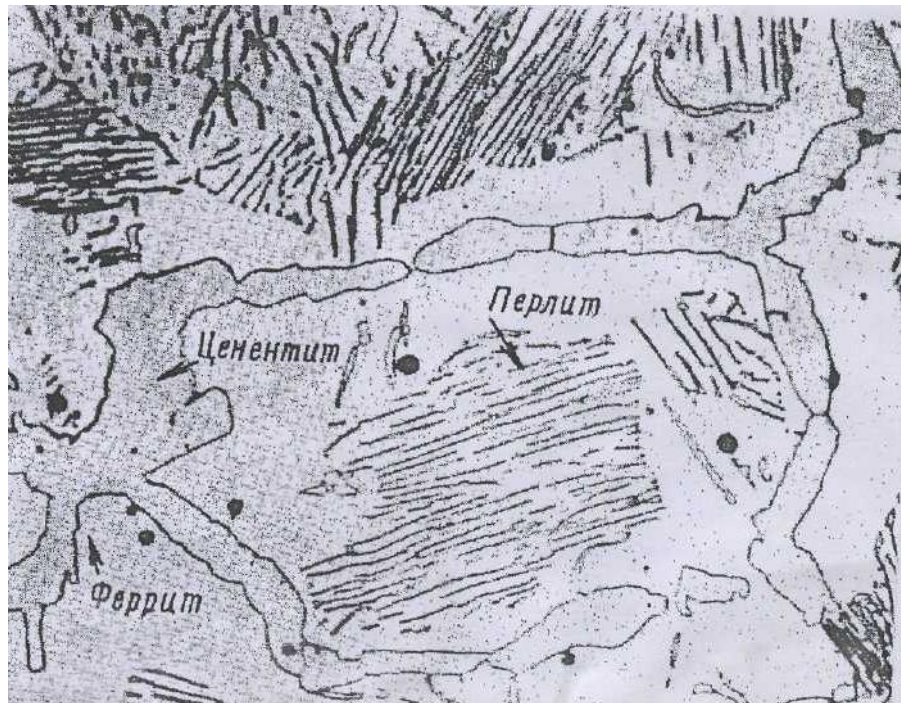


Рисунок 1.20 - Аномальна структура (x500)

Аномальна структура утворюється внаслідок схильності сталі до утворення евтектоїду. В цих випадках ферит та цементит зростають не

сумісно, як при утворенні перліту, а незалежно один від одного . Сприяють утворенню аномальної структури домішки, що змінюють термодинамічну активність вуглецю у напрямку збільшення коалесценції цементиту та поширюють інтервал метастабільного перліту (за рахунок збільшення поверхневого натягу його складових – цементиту та фериту), а також збільшують різницю вільних енергій γ -перетворень. Такий дефект, як смугастість є пороком мікроструктури сталі, що сприяє створенню неоднорідних механічних властивостей, знеміцненню металу, нерівномірному насиченню сталі при ХТО і виникненню у зв'язку з цим, на поверхні деталей помітної пятнистості.

Існує також такий дефект, як флокени. Флокени – тонкі хвилясті тріщини, що вражають частину або весь перетин металу, різко погіршують властивості.

Контроль товщини нітроцементованного шару.

Нітроцементований шар має перлітну концентрацію вуглецю по глибині, вміст вуглецю зменшується від поверхні до серцевини деталі.

У зв'язку з цим, після повільного охолодження в мікроструктурі шару визначають зону, яка складається з одного пластинчатого перліту, і зону, яка складається з перліту і фериту, кількість якого безперервно збільшується по мірі приближення до серцевини.

У випадку цементації сталей, легованими карбідоутворювачами, можливе виникнення в мікроструктурі шару зони, яка складається з перліту і карбідів.

У загальну товщину насичення приймають всю товщину шару з вмістом вуглецю, що перевищує вміст вуглецю основного металу.

Головна мета нітроцементування отримання твердої та зносостійкої поверхні.

Твердість поверхні (твердість шару) після гартування і відпуску повинна відповідати вимогам креслення.

Оцінку якості нітроцементациї проводять співставленням мікроструктури шкал ГОСТ 8233-56, ГОСТ 5640-68.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Хімічний склад, властивості матеріалів та температури критичних точок цієї групи наведено в таблицях 2.1-2.3.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад матеріалів

Матеріал	ГОСТ	Масова частка елементів, %								
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
15X	4543-71	0,12-0,18	0,17-0,37	0,4-0,7	$\geq 0,035$	$\geq 0,035$	0,7-1,0	$\geq 0,30$	$\geq 0,3$	-
20XГНМ	4543-71	0,7-1,0	0,8-1,1	0,17-0,37	$\geq 0,035$	$\geq 0,035$	0,5-0,8	0,7-1,0	$\geq 0,3$	0,9-1,0
20	4543-71	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,65	$\geq 0,04$	$\geq 0,035$	$\geq 0,25$	$\geq 0,25$	$\geq 0,25$	-

Таблиця 2.2 – Властивості матеріалів

Матеріал	Властивості після ТО					Рекомендовані режими ТО
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	φ , %	HRC шару	
	не менше					
15X	490	690	12	45	60-64	Гартування 880°C, в чи м Відпуск 180°C, в чи м
20XГНМ	1100	1300	10	50	60-64	Нітроцементация 860 °C Гартування 860°C, м Відпуск 180°C, пов.
20	290-340	490-590	18	45	56-60	Нітроцементация 920°C Гартування 800-820°C, в Відпуск 180-200°C, пов.

Таблиця 2.3 – Температури критичних точок матеріалів, °C

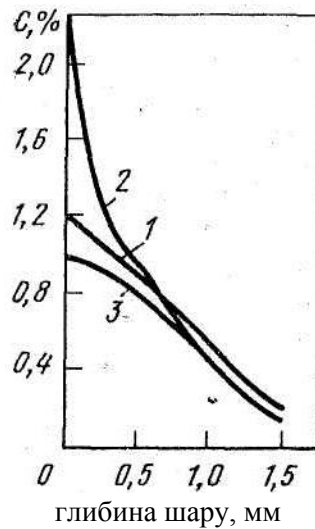
Матеріал	Ac ₁	Ac ₃ (Ac _m)	Arc _m	Ar ₁	Mn
15X	766	838	799	762	-
20XГНМ	740	830	725	650	365
20	735	850	835	680	-

Для виготовлення деталей, які зміцнюються цементациєю, застосовують низько вуглецеві (0,15-0,25%С) сталі. Вміст легуючих елементів в сталі не повинен бути надто високим, але повинен забезпечити необхідну прогартованість поверхневого шару і серцевини. При цьому слід мати на увазі, що карбідоутворюючі елементи (Cr, Mn та інші), зменшують розчинність вуглецю в аустеніті. Це сприяє виникненню у цементованому шарі карбідів, при меншому вмісті вуглецю – збідненню аустеніту легуючими елементами і зменшенню прогартованості цементованого шару, в результаті чого, погіршуються механічні властивості. Марганець і хром підвищують прогартовуваність серцевини і в меншій мірі цементованого шару. Сильно підвищує прогартовуваність цементованого шару молібден.

Після цементациї, гартування та низького відпуску цементований шар повинен мати твердість 58...62 HRC, а серцевини 30...42 HRC. Серцевина цементованих сталей повинна володіти високими механічними властивостями, особливо підвищеною межею текучості. Крім цього, вона повинна бути дрібнозернистою.

Збільшення зерна у цементованому шарі після термічної обробки викликає зменшення межі контактної витривалості, межа витривалості при згині, опір крихкому руйнуванню і збільшення деформації обробки.

На рисунку 2.1 наведена залежність кількості вуглецю від глибини цементованого шару.



1 - цементована сталь; 2 - сталь, легована карбідоутворюючими елементами;
3 - сталь, легована не карбідоутворюючими елементами.

Рисунок 2.1 – Розподілення вуглецю по глибині цементованого шару сталі

Хромиста сталь 15Х цементується на глибину 1,0 – 1,5 мм. Хром – дешевий елемент і широко застосовується при легуванні сталі. Хром частково розчиняється у фериті, частково у цементиті або створює спеціальні карбіди.

При гартуванні з охолодженням у маслі, після цементації, серцевина виробу має бейнітну будову. В наслідок цього хромиста сталь 15Х, у порівнянні з вуглецевою сталлю 20, має більші показники міцності при меншій пластичності в серцевині і кращої міцності в цементованому шарі. Хромиста сталь 15Х чутлива до перегріву (але менш, ніж вуглецева) і при цементації може мати підвищений вміст вуглецю у поверхневому шарі.

Сталь 20ХГНМ володіє підвищеною прогартованістю, це досягається в результаті легування її Ni. Марганець – порівняно дешевий елемент. Як і Cr марганець розчиняється у фериті і цементиті. Підвищуючи стійкість

аустеніту, марганець знижує критичну швидкість гартування і підвищує прогартовуваність. Молібден також підвищує прогартовуваність шару та забезпечує максимальну його твердість.

Після цементації ці сталі мають високі механічні властивості.

2.2 Дослідження мікроструктури

Дослідження виконані методом оптичної мікроскопії на мікроскопі МІМ-10 при робочих збільшеннях 50, 100 і 380 крат на зразках до і після нітроцементації. Зразки після нітроцементації були вирізані в двох напрямках: 1) перпендикулярно і 2) паралельно нітроцементованій поверхні. Поверхня зразків для перегляду в оптичному мікроскопі готувалася двома методами: 1) методом хімічного і 2) методом електрохімічного травлення. Хімічне травлення проводилося в 4%-му водному розчині азотної кислоти при кімнатній температурі, електрохімічне - в 10% му водному розчині соляної кислоти при температурі 20-40 ° С і щільності струму 0,5 А/см². Хімічне травлення дозволило виявити нітроцементований шар, електрохімічне - зерен і внутрізеренну структуру новоствореного шару і основного металу.

Визначення середніх розмірів зерен проводилось методом випадкових січних по мікрошліф. Середній розмір зерен в обсязі матеріалу кожного перетину зразка і середньоквадратичне відхилення визначали виходячи з середніх розмірів зерен, виміряних по окремим зображенням мікрошліфа. Для кожного перетину в роботі було виконано ~ 150 вимірів.

2.3 Дослідження ударно-циклічної витривалості

Дослідження ударно-циклічної витривалості проводилися на випробувальній машині копер ДСО-150 (м Лейпциг, Німеччина), з обертанням зразків. Ударне навантаження здійснювалося бабою в двох діаметрально протилежних точках зразка з частотою 300 ударів в хвилину при одній енергії удару 7,25 Дж. Розміри зразків - довжина 205 мм, діаметр 15 мм, відстань між опорами 130 мм. Ударну в'язкість визначали на машині УКІ-10М по ГОСТ 9454. Зразки для механічних випробувань піддавалися газової нітроцементациї на глибину 0,9 мм при температурі 870 °С. Далі слід було подстуживания, гарт і низький відпустку - 180 °С, 2 години. Також досліджувалися зразки після газової цементациї, подвійний гарту і низького відпустки.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Розробка технології хіміко-термічної обробки шестерні рульового управління

3.1.1 Аналіз умов експлуатації виробу

Аналіз умов експлуатації надає можливість з'ясувати:

- діючі в виробках напруження(статичні, динамічні, знакозмінні, циклічно змінні, симетричні(асиметричні), нормальні, дотичні, контактні тощо);
- напружений стан та розподіл напружень в виробках (одноосьове розтягування, двоосьове стиснення, всебічне стиснення, напруження рівномірно розподіленні, зосередженні тощо);
- температурно-часові параметри експлуатації (температура постійна кімнатна, низька (мінусова), висока, циклічно змінна в певних межах тощо);
- середовище експлуатації (повітря, масло, пари масла, масляний туман, вода, розчини солей (лугів, кислот), мастильно-охолоджувальна рідина, гази, продукти горіння, паливо тощо);
- тривалість експлуатації виробу (короткотривала, довготривала, задана кількість годин або циклів навантаження до виходу з ладу тощо);
- характер зносу (корозійний, корозійно-ерозійний, абразивний, кавітаційний, від контактної втоми, від адгезії, від протікання фретінг процесу);
- основні види і характер руйнування виробів;
- наслідки виходу виробу з експлуатації.

Аналіз форми та геометрії виробу надає можливість відмітити: наявність концентраторів напружень, їх вплив на розподіл напружень, наявність ділянок із різними товщинами та площею поперечного перетину, їх вплив на деформацію виробів при термічній обробці, на процеси їх нагрівання та охолодження.

На підставі проведеного аналізу умов експлуатації і можливих причин дострокового виходу з ладу сформулюємо вимоги до матеріалу.

Шестерня рульового управління призначена для передавання обертового моменту від рульового колеса до механізму керування колесами. Під час експлуатації шестерня рульового керування контактує з іншою шестернею. Під час експлуатації на шестерню діють напруження зсуву та згину. При цьому температура частіш усього перевищує 50°C у середовищі повітря. Тривалість експлуатації такої шестерні може становити багато років, тому термін експлуатації дуже тривалий. Під час експлуатації шестерня може зношуватись різними способами: викришування кромek, втрата геометрії через втрати мікрооб'ємів металу, руйнування зубців.

Руйнування такого відповідального вузла може призвести до тяжких наслідків.

Під час термічної обробки у місцях переходу від шестерні до валу можливе утворення тріщин під час охолодження.

Таким чином шестерня повинна мати в'язку та високу твердість поверхні, тому для такої шестерні необхідна така термічна обробка, як ХТО.

Для виготовлення шестерні рульового управління, застосовують низьковуглецеві сталі з 0,15-0,25%С. Вміст легувальних елементів в сталі не повинен бути надто високим, але повинен забезпечити необхідну прогартованість. Сталь повинна задовольняти усім вимогам роботи в машині, тобто забезпечити задану конструкційну міцність. Також матеріал повинен бути як можна дешевшим, з урахуванням всіх затрат, які включають не тільки вартість сталі але й виготовлення деталей їх експлуатаційну стійкість в машинах.

Таким чином для шестерні рульового управління можна обрати конструкційну сталь, яка задовольняє усім вимогам (ескіз виробу наведено на рисунку 3.1).

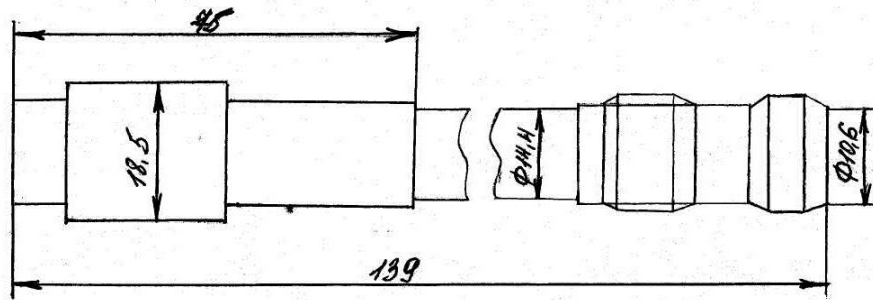


Рисунок 3.1 – Шестерня рульового управління

3.1.2 Номенклатура виробів зі сталей, які зміцнюються нітроцементацією

Номенклатура виробів із сталей, які зміцнюються нітроцементацією наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Номенклатура виробів зі сталей, які зміцнюються нітроцементацією

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм			Вимоги до матеріалу
			L	h	D	
Шестерня рульового управління	20ХГНМ	0,150	139		18,5	57...60 HRC
Палець наконечника	15ХГНМ	0,057	4,6		13,1	≥ 56 HRC
Палець	18ХГТ	0,05	18		9	≥ 57 HRC
Палець верхній	18ХГТ	0,05	44,5			≥ 57 HRC
Палець ресори	18ХГТ	0,108	85			52...63 HRC
Вісь з пальцем	18ХГТ	0,26	130			≥ 57 HRC
Трьохшоповік внутрішнього шарніру	25ХГМ	0,17		33,4		55...60 HRC

Продовження табл. 3.1

Болт	30	0,016	37			
Шкворень	20ХГНМ	8,2			190	59...63 HRC
Шайба	45	0,030			47	41,5...45,5 HRC

Розробимо маршрутну технологію для шестерні рульового управління зі сталі 20ХГНМ. Вона уявляє собою рух виробів по цехам та дільницям заводу з вказівкою на операції, які там виконуються.

Схема маршрутної технології шестерні рульового управління наведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Схема маршрутної технології виготовлення шестерні рульового управління

№ оп.	Назва операції	Цех в якому виконується операція	Призначення операції
1	Різання заготовок	Заготівельний цех, дільниця ковальського цеху, дільниця механічного цеху	Отримання заготовок для виконання операції штампування
2	Гаряче штампування	Ковальський цех (відділення)	Надання необхідної форми та створення сприятливої макроструктури
3	Попередня термічна обробка штампів	Термічне відділення ковальського або термічного цеху	Усунення перегрівання, пониження обробки різанням, зняття напружень

Продовження табл. 1.6

4	Механічна обробка	Механічний цех	Надання деталі попередніх форм та розмірів
5	Основна термічна обробка	Термічний цех (відділення)	Надання матеріалу необхідних структури, механічних властивостей
6	Кінцева механічна обробка	Механічний цех	Доведення форми, розмірів та шорсткості поверхні виробів до заданих робочим кресленням
7	Додаткова термічна обробка	Термічна дільниця механічного цеху	Зняття залишкових напружень розтягуванням, наведених шліфуванням

3.1.3 Розробка режимів та технології термічної обробки

Технологія термічної та хіміко-термічної обробки – це складові частини технологічного процесу виробництва виробу, яка забезпечує отримання заданої структури, механічних, експлуатаційних властивостей, якості виробів. Тому етап розробки режимів термічної та хіміко-термічної обробки є дуже важливим.

Необхідно здійснити вибір основних і додаткових операцій технологічного процесу.

Сталі, які зміцнюються нітроцементациєю (20,20ХГНМ), підлягають цементациї, гартуванню та низькому відпуску. Сталь 15Х підлягає термообробці, яка складається з гартування та низького відпуску.

Розрахуємо τ_n нітроцементациї для шестерні рульового керування:

$$S = 15 \text{ мм};$$

$$k = 1;$$

$$f = 1,4;$$

$$L_n = 0,8.$$

$$\tau_n = 15 * 1 * 1,4 * 0,8 = 16,8 \text{ хв.}$$

Для сталі 20 τ_n дорівнює:

$$\tau_n = 13 * 1 * 1,4 * 1,44 = 26,2 \text{ хв.}$$

Розрахуємо час охолодження для сталей 20 та 20ХГНМ:

Для сталі 20:

$$\tau_{ох} = \frac{920 - 20}{50} = 15,3 \text{ год}$$

Для сталі 20ХГНМ:

$$\tau_{ох} = \frac{860 - 20}{50} = 14,3 \text{ год}$$

Розрахуємо τ_n при гартуванні шестерні рульового управління:

$$\tau_n = 15 * 1 * 1,4 * 2,05 = 43,05 \text{ хв.}$$

Зведемо отримані данні в таблицю 1.19.

Наступною операцією ТО виробів є відпускання. для сталей 15Х, 20, 20ХГНМ температури відпуску такі:

- для сталі 15Х = 160-180 °С;
- для сталі 20 = 180-200 °С;
- для сталі 20ХГНМ = 180-200 °С.

Таблиця 3.3 – Розрахунок τ_n при гартуванні

Вироби	S, мм	k	f	L _n	$\tau_{n,ХВ}$	$\tau_{B,ХВ.}$
Шестерня рульового управління	15	1	1,4	2,05	43,05	45
Палець наконечника	13,1	1	1,4	1,8	14,67	30
Палець	9	1	1,4	1,8	10,08	30
Палець верхній	10	1	1,4	1,8	11,2	30
Палець ресори	9,1	1	1,4	1,8	10,19	30
Вісь з пальцем	10,5	1	1,4	1,8	11,76	35
Трьохшоповік внутрішнього шарніру	30	1	1,4	1,8	33,6	40
Болт	8	1	1,2	1,8	12,8	30
Шкворень	30	1	1,4	1,8	64,8	30
Шайба	5	1	1,4	1,8	12,6	30

Час витримки при низькому відпуску дорівнює 1 – 2,5 години.

Отже розрахуємо час нагрівання виробів до температури відпуску:

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_n$$

Зведемо отримані дані в таблицю 3.4.

Визначимо час охолодження для кожної сталі:

Для сталі 15Х:

$$\tau_{ох} = \frac{180 - 20}{3} = 53,3с = 0,8\text{ год}$$

Для сталі 20ХГНМ:

$$\tau_{ох} = \frac{200 - 20}{3} = 60с = 1\text{ год}$$

Для сталі 20:

$$\tau_{ох} = \frac{180 - 20}{3} = 53с = 0,8\text{ год}$$

Таблиця 3.4 – Розрахунок τ_n деталей при низькому відпуску

Вироби	S, мм	k	f	Lп	τ_n , хв
1	2	3	4	5	6
Шестерня рульового управління	15	1	1,4	4,0	84
Палець наконечника	13,1	1	1,4	4,0	73,3
Палець	9	1	1,4	4,0	50,4
Палець верхній	10	1	1,4	4,0	56
Палець ресори	9,1	1	1,4	4,0	50,9
Вісь з пальцем	10,5	1	1,4	4,0	58,8
Трьохшоповік внутрішнього шарніру	30	1	1,4	4,0	168
Болт	8	1	2	4,0	44,8
Шкворень	30	1	1,4	4,0	168
Шайба	5	1	1,4	4,0	28

На рисунку 3.2 зображено графік ТО для виробів, які виготовляють зі сталі 20ХГНМ.

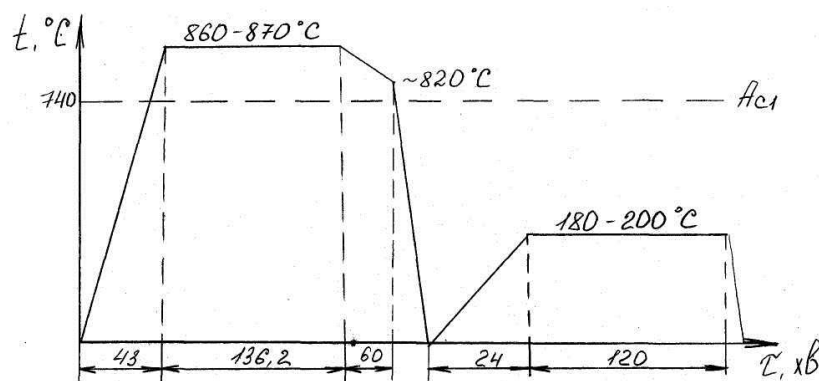


Рисунок 3.2 – Графік ТО деталі, виготовленої зі сталі 20ХГНМ

Технологія термічної та хіміко-термічної обробки – це складові частини технологічного процесу виробництва виробу, яка забезпечує отримання заданої структури, механічних, експлуатаційних властивостей, якості виробів.

3.1.4 Вибір та розрахунки кількості обладнання

Вибір типу обладнання для термообробки виробів визначається характером виробництва, технологічним процесом, геометрією та розмірами виробів. При масовому та крупносерійному виробництві необхідно вибрати високопродуктивне механізоване обладнання безперервної дії, в т.ч. і агрегати. Це збільшує продуктивність праці, зменшує виробничу площу, скорочує чисельність працівників, знижує собівартість продукції, скорочує до мінімуму ручну працю.

Необхідно прагнути вибрати високопродуктивне обладнання, але з таким розрахунком, щоб при заданій програмі випуску виробів був забезпечений високий коефіцієнт його завантаження ($\kappa_3 = 0,9 \dots 0,95$).

Річна виробнича програма. До програми входять: номенклатура виробів, маса та габаритні розміри виробів, кількість та загальна маса кожного виробу, який проходить обробку. Загальна кількість та маса виробів складають виробничу програму підрозділу.

Використовується декілька варіантів відображення річної програми:

Загальна маса виробів, які обробляються наведена в таблиці 3.5.

В агрегатах вироби хаотично розташовують на засобах пересування, в цих випадках не існує поняття пристосування. Завантажувальна відомість наведено в таблицях 3.6-3.7.

Для цього необхідно розрахувати масу виробів, яка розраховується за формулою:

$$m_{ni} = k_i * m_i$$

де: k_i – кількість виробів;

m_i – маса виробу.

Таблиця 3.5 - Річна виробнича програма

Назва виробу	Матеріал	Маса , 1 шт, кг	Розміри, мм			Кількість на моторокомплект	Виробнича програма	
			l	d	h		шт	Кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Шестерня рульового управління	20X ГНМ	0,150	139	18.5		1	228000	34200
Палець наконечника	15X ГНМ	0,057	4.6	13.1		10	2280000	129960
Палець	18X ГТ	0,05	18			10	2280000	114000
Палець верхній	18X ГТ	0,05	44.5			10	2280000	114000
Палець ресори	18X ГТ	0,108	85			10	2280000	246240
Вісь з пальцем	18X ГТ	0,26	130			5	1140000	296400
Трьохшоповік внутрішнього шарніру	25X ГМ	0,17	33.4			2	456000	77520
Болт	30	0,016	37			10	2280000	36480
Шкворень	20X ГНМ	8,2	190			2	456000	3739200
Шайба	45	0,030	47			20	4560000	136800

Продуктивність розраховуємо за формулою:

$$Q_{pi} = k_i * m_i * 60 / t_{\text{заг}}$$

де k_i – кількість виробів;

m_i – маса виробу;

$t_{\text{заг}}$ – загальний час термообробки.

Необхідний час роботи розраховуємо за наступною формулою:

$$T_i = M_{pi} / Q_{pi}$$

де M_{pi} – маса виробів в печі;

Q_{pi} – продуктивність.

Після чого необхідно визначити загальний час роботи:

$$T_{\text{с}} = \sum_{i=1}^n T_i$$

де $\sum_{i=1}^n T_i$ - середня арифметична сума часу роботи печі.

Зведена відомість обладнання

$$P_p = T_{\text{з}} / \Phi_{\text{д}}$$

$$\Phi_{\text{д}} = (365 - D_{\text{вих}} - D_{\text{св}}) * K_{\text{зн}} * T_{\text{зн}} * K_{\text{вик}}$$

де $D_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів на рік = 52;

$D_{\text{св}}$ – кількість святкових днів на рік = 8;

$K_{\text{зн}}$ – кількість змін на добу = 3;

$T_{\text{зн}}$ – тривалість однієї зміни, год = 8 год;

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання = 0,90...0,94.

Таблиця 3.8 - Зведена відомість обладнання

Назва та індекс обладнання	Назва техно-логічної операції	Річний випуск виробів	Кількість обладнання, шт		Середня продуктивність, Q_r		Коефіцієнт завантаження, K_3
			P_p	$P_{пр}$	кг/г	шт/г	
СТЦА	Ц	18240000 (4924800)	1,45	2	512,5	6701,06	0,73
	В	18240000 (4924800)	1,54	2	512,5	6701,06	0,79

3.1.5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку

Види дефектів, які можуть утворюватися, наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Види дефектів при ТО

Вид дефекту	Причина виникнення	Заходи по запобіганню виникнення дефекту	Рекомендації по усуненню дефекту
1	2	3	4
<u>Нітроцементация</u>			
Завищена глибина шару	завищена температура процесу завищений час висока активність атмосфери використання матеріалу-замінника без уточнення параметрів ХТО	здійснення процесів згідно з технологією постійне регулювання вуглецевого потенціалу(регулювання вмісту CO, CO_2, H_2O, CH_4) корегування параметрів процесу при заміні матеріалу виробу	невиправний вид браку
Занижена глибина шару	малий час витримки мала активність робочого середовища занижена температура наявність забруднень на поверхні утворення сажі на поверхні виробу	проведення цементації із врахуванням $\tau_{цем.} = h_{сер.} / V_{цем.}$ регулювання складу контрольованої атмосфери для забезпечення необхідного вмісту CO, CH_4, C проведення цементації при відповідних температурах обов'язкове промивання та очищення виробів проведення ХТО із динамічним регулюванням вуглецевого потенціалу	повторна цементация або до цементация

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4
Цементацийна сітка	завищений вуглецевий потенціал занижена температура процесу завищений час цементациї наявність в сталі карбидоутворюючих елементів ванадію та хрому	підтримка вуглецевого потенціалу проведення цементациї при зазначеній в технології температурі проведення процесу впродовж заданого часу введення в сталь елементів , що понижують розчинність вуглецю та його абсорбцію (кремній, нікель)	нагрівання вище Ас _м
Занижений вміст вуглецю	занижений вміст вуглецю висока температура цементациї наявність забруднень поверхні виробів	підтримка вуглецевого потенціалу проведення цементациї при зазначеній температурі обов'язкове промивання виробів безпосередньо перед цементациєю	цементация за короткий час в середовищі з високим вуглецевим потенціалом
Незадовільний розподіл вуглецю по глибині шару	незадовільне регулювання вуглецевого потенціалу відхилення від температурного режиму	дифузійний відпал в атмосфері із пониженим вуглецевим потенціалом	відпал дифузійний в атмосфері із пониженим вуглецевим потенціалом
Гартування			
Тріщини	завищена швидкість охолодження завищена швидкість нагрівання завищена температура гарту	раціональний вибір гартівника швидкість нагрівання повинна дорівнювати або бути більшою допустимої, використання сходиноквого нагріву використовується мінімально допустима температура гарту	невиправний дефект

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4
Окислення	завищені температура та час гарту	дотримання температури та часу обробки передбаченою технологією	не виправний вид дефекту
Утворення грубого частого мартен сити	використання сталі-замінника , що має меншу стійкість зерна завищена витримка і температура при цементації, гарті	у випадку заміни сталі необхідно корегувати технологію дотримуватись технології	для виправлення дефекту спочатку проводять попередню ТО (відпал або високий відпуск) і лише потім проводиться повторний гарт з дотриманням технології
Знеуглецювання	обробка в повітряному середовищі підвищена температура гарту	використання контрольованих атмосфер дотримання температури та складу середовища	призначення перед ТО припусків на наступне мех.оброблення проведення реставраційної ХТО
Знижена твердість	знижена швидкість охолодження знеуглецювання виробів при аустенітезації	правильний гартівник використання контрольованих атмосфер	повний відпал і повторний гарт ,де для охолодження використовується відповідний гартівник при відпалі відновити вміст вуглецю,і повторити ТО з використанням контрольованих атмосфер

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4
Завищений вміст аустеніту залишкового	високі температура гарту цементацийне перенасичення	використання мінімально припустимих температур гарту дотримання технологічних параметрів ТО та ХТО	обробка холодом багаторазовий відпуск відпуск при максимально можливій температурі
Плямиста твердість	неоднорідне охолодження	забезпечення примусової циркуляції гартівника	високотемпературний відпуск або повний відпал із наступним повторним гарту
Короблення	завищені швидкості нагрівання конструкція виробу така, що робить його схильною до короблення	дотримання передбачених в технології швидкості нагрівання гарт в зневоленому стані	усунення короблення остаточним мех..обробленням відпал і повторний гарт в зневоленому стані
Відпуск			
Занижена твердість	завищена температура відпуску завищений час відпуску занижена твердість після гарту	дотримання раціональних температур відпуску відпуск впродовж часу передбаченого технологією контроль твердості після гарту	гарт з наступним відпуском
Завищена твердість	занижена температура відпуску занижена тривалість відпуску	проведення відпуску за параметрами, що передбачені технологією	проведення повторного відпуску за технологією
Завищена кількість залишкового аустеніту	завищена температура гарту не проведена обробка холодом	гарт від оптимальних температур контроль за проведенням обробки холодом	обробка холодом і повторний відпуск

3.2 Зміна розміру зерна конструкційної сталі під впливом нітроцементатації

Зображення поверхні після травлення на внутрізеренну структуру і межі зерен стали в початковому стані представлено на рис. 3.3, а, функція розподілу зерен за розмірами - на рис. 3.3, б. Як видно з рис. 3.3, в вихідному матеріалі присутній звичайна поліедріческіх зерен структура. Функція розподілу зерен має типовий для відпаленого матеріалу вид, середній розмір зерен становить величину 56 мкм, найбільш ймовірний - 70 мкм, дисперсія розміру зерен - 19 мкм. Функція розподілу зерен - одномодальних.

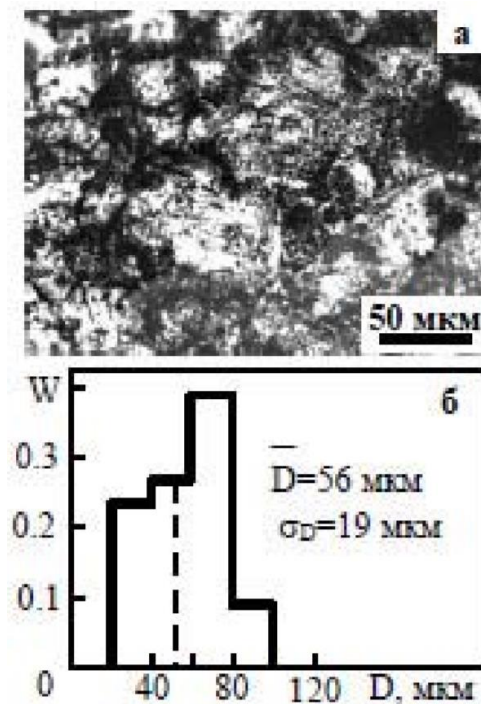


Рисунок 3.3 - Зображення мікроструктури сталі 20X2H4A в початковому стані (а) і розподіл зерен за розмірами (б)

Вище ми відзначали, що нітроцементатація сталі приводить до створення нітроцементованного шару поблизу поверхні зразка. Структура шару по мірі віддалення від поверхні зразка змінюється. Змінюється і зеренна структура

шару. Схематично зеренна структура нітроцементованного шару досліджуваної сталі в міру віддалення від поверхні зразка (перпендикулярний до перетин зразка) представлена на рис. 3.4, а, а її зображення, отримане методом оптичної мікроскопії, - на рис. 3.4, б.

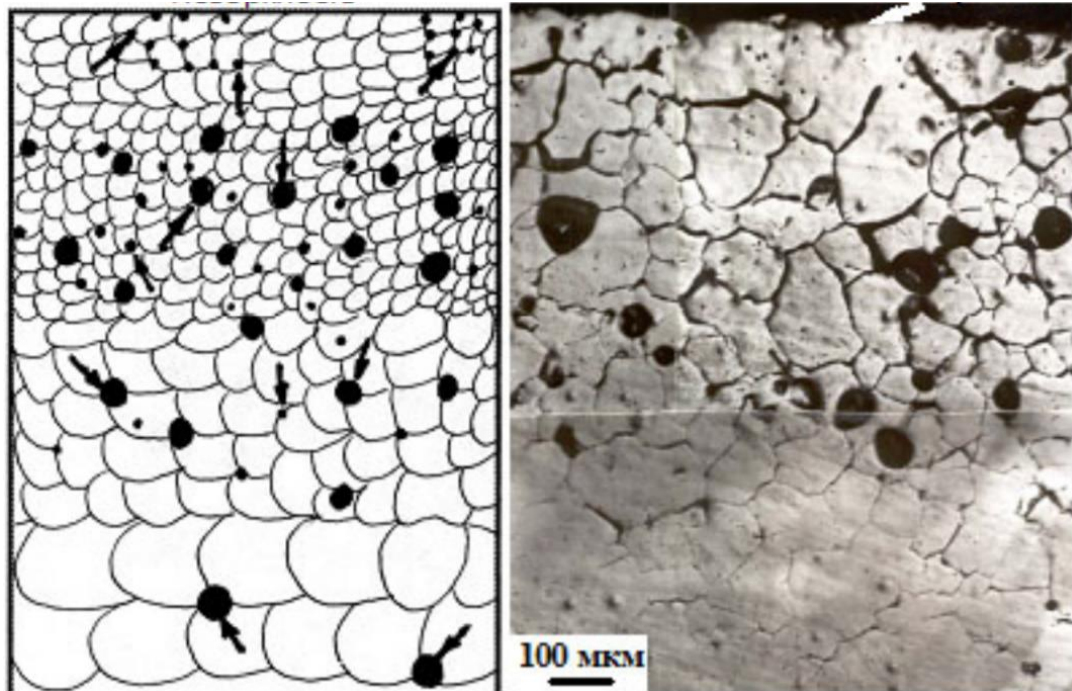
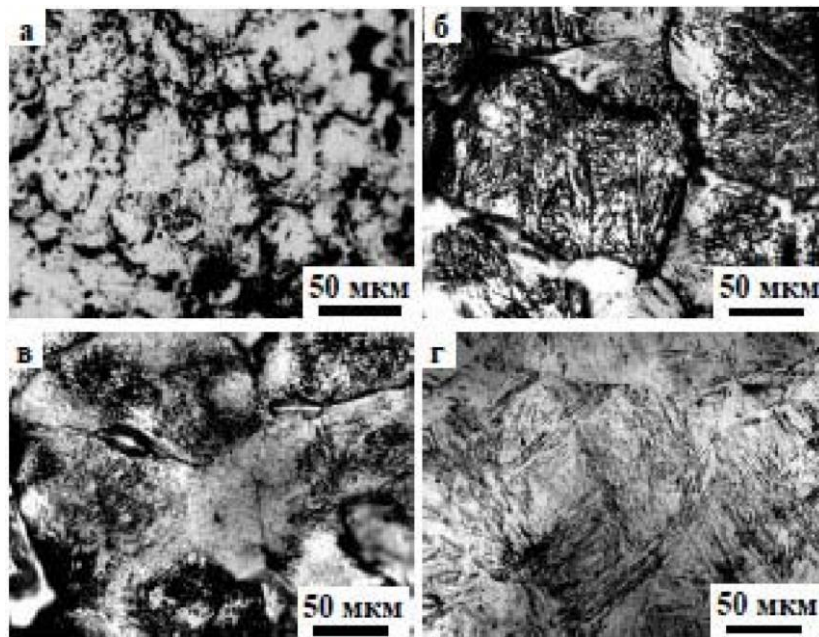


Рисунок 3.4 - Схематичне (а) і оптичне (б) зображення зеренної структури нітроцементованного шару сталі 20X2H4A в міру віддалення від поверхні вглиб зразка. Стрілками (а) вказані виділення, добре помітні на оптичних шлифах; лініями - границі зерен. Перпендикулярний перетин зразка

З рис. 3.4 добре видно, що в міру віддалення від поверхні в глиб зразка вид зеренної структури змінюється. Змінюється і розмір зерен. Добре видно також границі зерен, декоровані карбідами. Безсумнівно, що на всю глибину нітроцементованного шару великий внесок дає дифузія вуглецю і азоту на межі зерен.

Картина зеренної структури сталі після нітроцементатації, отримана в оптичному мікроскопі на різних відстанях від поверхні з зразків, вирізаних паралельно нітроцементованній поверхні, представлена на рис. 3.5.



а - поверхня; б - 0,2 мм; в - 1,1 мм; г - 2,1 мм від поверхні

Рисунок 3.5 - Зображення мікроструктури сталі 20X2H4A після нітроцементації на різних відстанях від поверхні в перерізі, паралельному нітроцементованій поверхні зразка

Як видно з представлених фотографій, розміри зерен в міру віддалення вглиб матеріалу змінюються складним чином. Це підтверджують проведені вимірювання, виконані безпосередньо в оптичному мікроскопі і представлені на рис. 3.6, а також розподілу зерен по розмірам, отримані для різних відстаней від нітроцементованій поверхні (рис. 3.7).

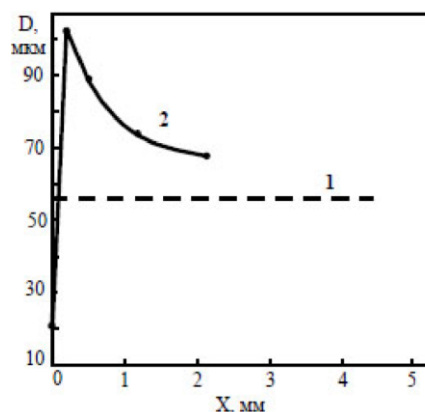


Рисунок 3.6 - Середні розміри зерен ($\bar{D}$) на різних відстанях (X) від нітроцементованої поверхні стали до (1) і після (2) нітроцементатації

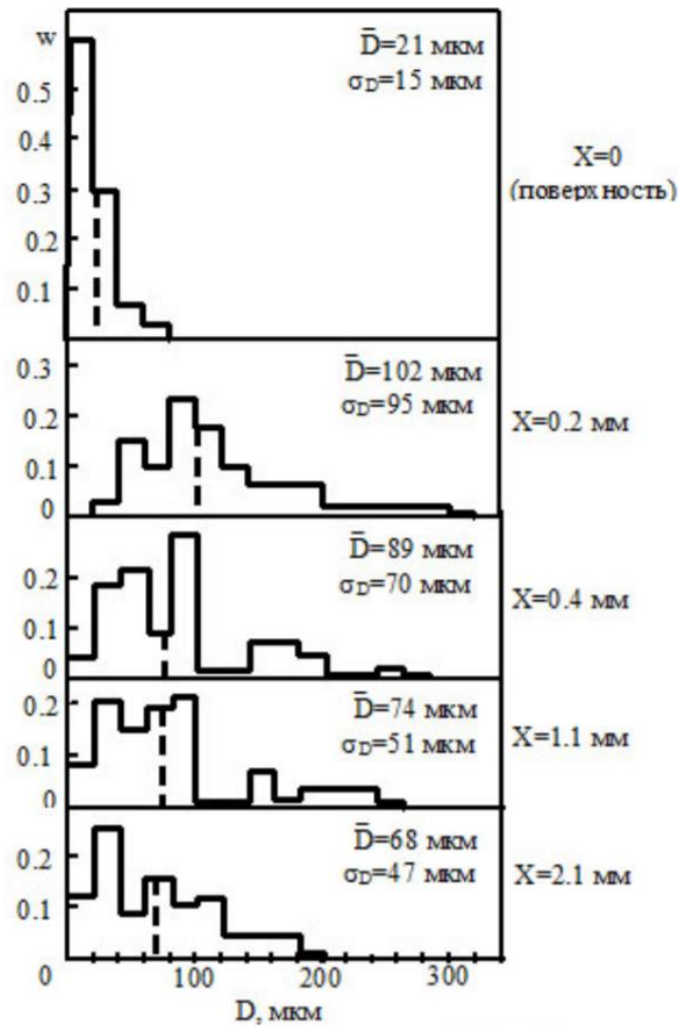


Рисунок 3.7 - Розподіл зерен за розмірами в сталі 20X2H4A після нітроцементатації (X - відстань від поверхні зразка)

З рис. 3.6 видно, що на поверхні нітроцементованного зразка середній розмір зерен має мінімальне значення, потім він швидко зростає і на глибині ~ 200 мкм стає найбільшим.

Після цього розмір зерен зменшується, і в кінці шару його значення порівнюється із середнім розміром зерна основного металу, наближаючись до вихідного. Подібні результати відзначалися і раніше [4-5]. Відзначимо, що для міцності властивостей сталі 20X2H4A [6] різнозернистими має важливе значення. Ще раз підкреслимо, що всі зміни в зерен структурі дослідженої в

роботі стали 20X2H4A пов'язані з інтенсивною дифузією вуглецю та азоту на межі зерен в ході нітроцементзації.

Отже, на підставі проведених досліджень зерен структури в конструкційної сталі 20X2H4A, підданої нітроцементзації, встановлено, що нітроцементзація призводить до різкого подрібнення зерна поблизу поверхні зразка. У міру віддалення від поверхні в глиб зразка середній розмір зерна спочатку швидко зростає, і на глибині 0,2 мм від поверхні перевищує вихідне значення практично в 2 рази, потім убуває, наближаючись до вихідного стану зразка.

3.3 Ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей

Після ХТО вміст вуглецю в поверхневому шарі становив 0,8 -1,0%, вміст азоту не перевищував 0,4%, а рівень твердості в усіх матеріалах був в межах 57-60 HRCe. Мікроструктура поверхні нітроцементованих сталей представляла собою: сталь 18ХГТ, 20ХГСНТ - дрібноігольчатий мартенсит, карбонітриди 1-3 бали, залишковий аустеніт 2-3 бали; сталь 20ХН3А - грубоігольчатий мартенсит, карбонітриди 1-2 бали і велика кількість відокремленого аустеніту 4 бали. Вміст залишкового аустеніту становив 30, 40 і 55% відповідно в сталях 18ХГТ, 20ХГСНТ і 20ХН3А. Така мікроструктура і знижена твердість сталі 20ХН3А в порівнянні зі сталями 18ХГТ, 20ХГСНТ пояснюється її легуванням: вона містить більше нікелю і не містить титану, що обмежує зростання зерна, аустеніту при температурі нітроцементзації.

Працездатність зміцнених ХТО деталей залежить від властивостей поверхневого шару і серцевини. При близьких значеннях властивостей поверхнево-зміцненого шару межа витривалості деталей підвищується в міру збільшення плинності і твердості серцевини. Тому твердість серцевини

зразків ретельно контролювалася і становила для сталей 18ХГТ - 31-32 HRC, 20ХН3А - 35-36 HRC, 20 ХГСНТ - 39-40 HRC.

Проведені випробування показали, що стали леговані нікелем мають в 3-5 разів вищу ударно-циклічну витривалість після нітроцементациї, ніж хромомарганцевих сталей (31 і 56 тис. циклів у сталей 20ХН3А і 20ХГСНТ відповідно, проти 10,5 тис. циклів у сталі 18ХГТ), хоча відмінність в ударної в'язкості серцевини цих сталей становить близько 15% до ХТО і 20-75% після ХТО (табл. 3.10). Високої ударно-циклічної витривалості нітроцементірованої сталі 20ХГСНТ сприяє більш дрібнозерниста мікроструктура зміцненого шару, а крім того експериментально встановлено наявність на поверхні даної сталі стискають залишкових напружень першого роду ($\sigma = 1590$ МПа), які також сприяють досягненню високої ударно-циклічної витривалості.

Встановлено, що в порівнянні з цементациєю нітроцементация сталі 20ХГСНТ не призводить до зниження ударно-циклічної витривалості (54-56 тис. циклів), а для сталі 20ХН3А після нітроцементациї ці показники помітно знижуються (цементация - 55 тис. циклів, нітроцементация - 31 тис. циклів), що ймовірно пов'язано з її грубою мікроструктурою нітроцементованого шару.

Таблиця 3.10 - Механічні властивості нітроцементованих сталей

Механічні характеристики	Марки сталей і термічна обробка				
	18ХГТ	20ХГСНТ		20ХН3А	
	Нітроцементация	Нітроцементация	Цементация	Нітроцементация	Цементация
Твердість поверхні, НЯСэ	60	60	60	57	59
Твердість серцевини, НЯСэ	31-32	39-40	39-40	35-36	35-36
Ударна в'язкість серцевини, Дж/см ²	78	90	90	85	85
Ударна в'язкість після ХТО, Дж/см ²	20	24	21	35	30
Кількість циклів ударного навантаження до руйнування (тис.)	11,5	56	54	31	55

Границя витривалості при згині, МПа	740	1000	990	780	930
-------------------------------------	-----	------	-----	-----	-----

У зламах зразків на ударно-циклічну витривалість не виявляються вогнища втомних руйнувань, спостерігається зона поширення тріщини і зона долому. Це, мабуть, пояснюється тим, що руйнування починається з багатьох вогнищ. При випробуванні на втому при згині (після нітроцементациї) завжди яскраво виражений і вогнище втомного руйнування, і зона поширення тріщин, і зона доломіт (рис. 3.8).

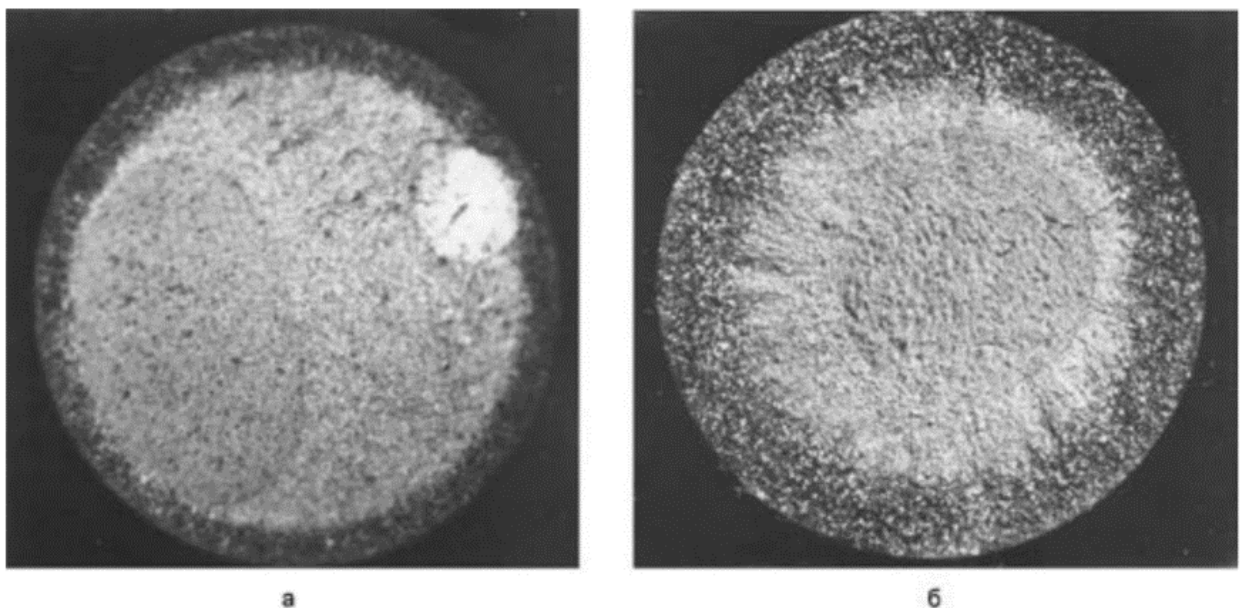


Рисунок 3.8 - Будова зламів втомних зразків зі сталі 20ХН3А (х3) при випробуванні на згин (а) на ударно-циклічну витривалість (б).

З метою виявлення зв'язків між отриманими значеннями механічних властивостей сталей за стандартною методикою були розраховані коефіцієнти парної кореляції між ними. Перевірка статистичної значущості отриманих коефіцієнтів, проведених на рівні значущості $\alpha = 0,05$, показала, що значення ударно-циклічної витривалості (число циклів до руйнування) не корелює з ударною в'язкістю зразків після ХТО.

Однак виявлено, що ударно-циклічна витривалість корелює з межею витривалості при згині. Статистична обробка результатів експериментів дозволила отримати залежність зв'язують ці характеристики.

$$N = 141,31\sigma_{-1} - 84135,9$$

де N - число циклів навантаження;

σ_{-1} - границя витривалості при вигині, МПа

Таким чином встановлено, що ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей 20ХНЗА, 20ХГСНТ при досліджених значеннях енергії удару в 3-5 разів вище ударно-циклічної витривалості стали 18ХГТ. Ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей 18ХГТ 20ХНЗА, 20ХГСНТ не пов'язана з ударною в'язкістю сталей, а залежить від межі витривалості при згині.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

- Можливість отримання механічних травм, що може бути пов'язано з порушенням правил з охорони праці при підготовці деталей до термополіпшення.
- Надлишкова напруженість та інтенсивність праці.
- Негативний вплив теплового випромінювання при завантаженні садки в піч, що може бути пов'язано з відсутністю індивідуальних засобів захисту.
- Можливість отримання термічних опіків внаслідок виплесків гартувального мастила при гартуванні.
- Можливість отримання механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для випробування твердості.
- Небезпеки, які пов'язані з використанням аміаку в процесі азотування, зокрема при підготовці насичувальної атмосфери.
- Можливість ураження електричним струмом. Головними причинами можуть бути порушення правил електробезпеки, несправність енергоспоживаючого обладнання. Відсутність групових або індивідуальних засобів захисту.
- Підвищена загазованість шкідливими речовинами в процесі азотування, що є специфікою цього процесу та може призвести до отруєння.
- Незадовільне освітлення, через вихід з ладу чи забрудненість приладів освітлення, що призводить до погіршення зору.
- Можливість загорянь, причиною яких є порушення правил пожежної безпеки, що може призвести до пожеж.

4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.

- Для виключення механічних травм передбачено:

Організаційні заходи дотримання чистоти і порядку на робочих місцях: використання індивідуальних засобів захисту, а саме брезентові захисні костюми, рукавиці брезентові, спеціальне взуття з металевим битком, на носку; при роботі з нагрітими матеріалами використовуються волочені костюми, азбестові фартухи і рукавиці згідно із ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».

Технічні: використання тільки справного інструменту та їх пристосувань. Пересування оброблювальних деталей по дільниці, як правило виконується за допомогою кран – балки, в зв'язку з цим існують вимоги, до зачеплення тари з деталями яке не повинно призвести до повороту цієї тари. Пересування повинно виконуватись тільки за схемою переміщення, одночасний рух в напрямках суворо забороняється. Перед початком роботи доцільно перевірити працездатність блокуючи кінцевих перемикачів та гальмівної системи.

- Для мінімізації негативного впливу напруження та інтенсивної праці передбачено: оптимальний розподіл робочого часу (10 хв на 1 годину) та використання засобів автоматизації та механізації.

- Основним захистом від теплових потоків підвищеною інтенсивністю використовують спеціальний одяг, для захисту від підвищених температур (суконний одяг) згідно із ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ «Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения», в тому числі з азбестовими накладками, на головних щитків згідно із ГОСТ 12.4.035-78 ССБТ «Щитки защитные лицевые. Технические условия».

- Для виключення можливості опіків при виплесках гартувального мастила при гартуванні використовують спеціальний одяг (суконний чи

брезентовий) згідно із ГОСТ 12.4.221-2002 ССБТ «Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения» та інструктажі по техніці безпеки при роботі із гартувальним мастилом.

- Для виключення механічних травм при підготовці зразків для випробування на твердість використовують тільки справне обладнання, а також не допускають працівників, які не пройшли інструктажі з правил безпеки. Відбалансований вал на точно шліфувальному станці. Перед установкою абразивного круга ретельно оглянути і перевірити на відсутність тріщин легким постукуванням (в підвішеному стані) дерев'яним молотком масою 200-300 г. Справний круг при постукуванні дає чистий дзвінкий звук, несправний - глухий. При обробці абразивними кругами виробів, утримуваних в руках, застосовують підручники. Підручники повинні бути пересувними, які забезпечують можливість установки їх в необхідне положення по мірі обертання круга НПАОП 28.52-1.22-64 «Правила и нормы безопасной работы с абразивным инструментом.» Не приступати до роботи при відсутності захисного екрана або бічних стінок.

- Для виключення можливості витічки при підготовці та використанні аміаку слідкують за герметичністю судин, по яким транспортується газ. Балони з аміаком не мають підп'ятника. Зберігання повинно бути тільки в аміачній рампі, яка має ємність з водою, балони можуть бути скинуті у воду. Нагрівання балонів не більше 40⁰С – недопустимо.

- Для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені основні заходи електробезпеки:

Організаційні. До роботи допускаються особи які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки та отримали допуск до певної групи електробезпеки згідно ПУЕЗ 2013 або ПТБЕ. Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал.

Технічні. розташування не ізольованих струмопровідних ліній на недоступній висоті (до 1000 Вт, не менше 3,5 м, а вище 1000 Вт, не менше 6м), також передбачене заземлення. Спуски шинопроводів повинні бути

надійно огороженні суцільним огороженням, відкриття якого можливе для спеціальних пристроїв. Кабельні мережі повинні мати надійну ізоляцію опір якої не менше 0,5 МОм. Усе технологічне обладнання надійно заземлене ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Защитное заземление, зануление». Обов'язковим є використання блокуючих і ізолюючих пристроїв.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

- Для виключення підвищеної загазованості шкідливими речовинами в процесі азотування над пічками потрібно розміщувати місцеву вентиляцію, яка буде всмоктувати шкідливі гази.

- При освітленні виробничих приміщень використовують природне освітлення та штучне, здійснюване електричними лампами, і комбіноване, при якому в світлий час доби недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним. До складу системи штучного загального рівномірного освітлення рекомендовані дугорозрядні лампи типу ДРЛ 250 – 400 Вт, які встановлені в світильники типу РСП по одній шт.

Виробничу будівлю проектуємо з урахуванням можливості максимального використання природного освітлення, що дозволить отримати значну економію електроенергії. Виробниче освітлення в проектованому цеху передбачає як природне, через скло стін прольоту і на дащі будівлі - крізь світлові вставки ліхтарі, так і штучне. Освітлення робочого місця виконана відповідно с ДНБ В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне та штучне освітлення».

Норма освітлення для цеху 200лк. При верхньому і боковому природному освітленні коефіцієнт природної освітленості буде не менше 2, а при верхньому і боковому буде не менше 1.2. Світильники місцевого освітлення оснащені відбивачами, виготовленими з матеріалу, що не

просвічує та із захисним кутом не менше 30 градусів, а при розташуванні світильників нижче рівня очей працюючого - не менше 10 градусів. Крім робочого освітлення в цеху передбачено аварійне освітлення, яке необхідно для освітлення в випадку аварій і надзвичайних ситуацій.

Для приведення параметрів повітряного середовища до норм, вказаних в таблиці 4.1, на ділянці встановлюється система загальнозмінної вентиляції. Проект вентиляції виконується відповідно до СНіП 20485-86 «Опалювання, вентиляція і кондиціонування. Норми проектування». При проектуванні враховуються вимоги ГОСТу 121005-88 «Загальних санітарно-гігієнічних вимог до повітря робочої зони» і СН 245-71 «Санітарні норми проектування промислових підприємств». У холодний період використовується калорифер.

Таблиця 4.1 – Оптимальні норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Сезон року	Температура, °C (оптимально-допустима)	Відносна вологість, % (оптимальна)	Швидкість руху, м/с (оптимальна)
Холодний період	16-19	40-60	<0,3
Теплий період	18-26	40-60	<0,4

Розрахунок продуктивності природної вентиляції:

$$L = K \cdot V_n, \text{ м}^3/\text{год.}$$

де K – кратність повітряобміну ($K=2$)

V_n – об'єм приміщення

$$S = 850 \text{ м}^2 \text{ h}=7$$

$$L = K \cdot V_n = 2 \cdot (850 \cdot 7) = 11900 \text{ м}^3$$

Розрахунок кількості зовнішнього повітря, необхідного для асиміляції надлишкового тепла у приміщенні:

$$L = \frac{Q}{c \cdot \gamma (t_{\text{вн.}} - t_{\text{зовн.}})} \text{ м}^3/\text{год}$$

де Q – загальна кількість тепловиділення, кДж/год

c – питома теплоємність повітря, що дорівнює 1 кДж/(кг °С)

γ – густина зовнішнього повітря

$Q = 38000$ кДж/год

$$t_{\text{вн.}} = 37, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{зовн.}} = 27, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\gamma = \frac{353}{273 + 27} = 1,17 \text{ кг/м}^3$$

$$L = \frac{38000}{1 \cdot 1,17 (37 - 27)} = 3247,8 \text{ м}^3/\text{год}$$

4.4 Заходи з пожежної безпеки.

Згідно із ДНБ В.1.1.7. - 2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» ступінь вогнестійкості будівельних конструкцій будівлі - II, тобто воно зібрано в основному з важкозаймистих матеріалів.

Основні причини пожеж в цеху:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електрообладнання (коротке замикання, перевантаження);
- конструктивні недоліки обладнання;
- ремонт обладнання на ходу.

Заходи з пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильне утримання будівель, території, протипожежний інструктаж працівників, і т.д.

До технічних заходів належать, дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будинків, при влаштуванні електромереж і устаткування, опалення, вентиляції, освітлення, правильне освітлення обладнання.

Заходи режимного характеру - це заборона куріння в невстановлених місцях, виробництва зварювальних та інших вогневих робіт в пожежонебезпечних приміщеннях.

Кількість первинних засобів пожежогасіння визначаються відповідно до НАПБ 03.001 - 2004 «Типові норми належності вогнегасників». Площа цеху 1815 м². Виходячи з цього обираємо 2 порошкових вогнегасника, ємністю по 5 кг кожен.

При проектуванні передбачені шляхи евакуації на випадок пожежі - по проходах, проїздах, аварійні виходи. Оскільки будівля одноповерхова, то евакуаційним вважається вихід, що веде з приміщень цеху назовні через коридор (вестибюль). Шляхи евакуацій розосереджені, і найбільша відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого виходу не перевищує 50 м.

Ширина пожежних проїздів дорівнює 4 м. Ширина проходів, службовців для евакуації людей, 1 м, коридорів 1,4 м, дверей 2 м. Всі ворота і двері, службові для евакуації людей, відкриваються назовні.

Будівля забезпечена різним протипожежним інвентарем і вогнегасниками, є внутрішній пожежний водопровід,

Згідно з НАПБ 03.001 - 2004 «Типові норми належності вогнегасників» в цеху встановлено пожежний щит. У таблиці 4.2 наведено інвентар пожежного щита.

Таблиця 4.2 – Інвентар пожежного щита

№	Назва	Кількість
1	Вогнегасник	3
2	Ящик з піском	1
3	Сокира / Лом	2
4	Лопата	2
5	Відро	2
6	Багор	2

4.5 Організація дослідження стійкості роботи промислового об'єкта.

- Небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях, зокрема порушенням порядку проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

Під стійкістю роботи промислового об'єкта приймають в умовах надзвичайних ситуацій випуск продукції у визначених об'ємах і номенклатурі, а при отриманні слабких і середніх руйнуваннях в мінімальні терміни відновлюється виробництва.

Під стійкістю роботи не промислових об'єктів приймають їх властивість частково виконувати свої функції.

Умови стійкості об'єктів закладаються на стадії розміщення та проектування. На цьому етапі враховується категоричність тієї території, де планується розмістити об'єкт. Всього є три категорії:

- Столиці та обласні центри, а також території де є особливо небезпечні об'єкти.
- Населені пункти із населенням 100 тис. жителів.
- Інші населені пункти.

В особливий період 1 категорія може бути використана по всій території країни.

Розміщення об'єктів повинно виконуватись з урахуванням категорій та зон можливих руйнувань при виникненні надзвичайних небезпек.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденції розвитку світового ринку технологій хіміко-термічної обробки

У сучасній міжнародній економіці науково-технічний прогрес та інновації стали головним фактором, який формує порівняльні переваги і визначає міжнародну конкурентоспроможність країни. Однак відмінності в забезпеченості базовими факторами виробництва, їх якісні характеристики на фоні прагнення до країн отримання технологічного та економічного лідерства об'єктивно зумовлюють потребу в міжнародному науково-технологічному обміні.

Інтенсивний розвиток міжнародного науково-технологічного обміну, обумовлено прискоренням темпів науково-технічного прогресу і радикальним скороченням проміжку часу між появою нової технології, і її використанням у масовому виробництві, відзначається з другої половини ХХ століття. В сучасних умовах воно перетворилося в найбільш динамічну форму міжнародних економічних відносин і в перспективі ці тенденції зберігатимуться.

Крім високих темпів розвитку, до провідних сучасних тенденцій, які також будуть збережені як мінімум в короткостроковій перспективі, міжнародного науково-технологічного обміну слід віднести:

- формування дворівневої структури світового ринку технологій - між промислово розвиненими країнами здійснюється обмін високими технологіями, передача морально застарілих і традиційних технологій йде в напрямку від промислово розвинених країн в країни, що розвиваються, що закріплює наявний між ними технологічний розрив;

- стійке домінування на світовому ринку технологій промислово розвинених країн - їх частка в міжнародному науково-технологічному обміні становить майже 90%;

- концентрація технологічних ресурсів у незначного числа країн - понад 60% загального обсягу міжнародного науково-технологічного обміну приходить на п'ятірку найрозвиненіших країн світу - США, Японію, Великобританію, Німеччину і Францію;

- зростання участі в світовому господарстві "венчурних" фірм - дрібних і середніх фірм, на які великий бізнес перекладає ризик науково-дослідних і конструкторських розробок, освоєння нової продукції, випробування нововведень;

- збільшення частки наукомістких високотехнологічних товарів в загальній структурі світового експорту.

Практично до всіх країн світу прийшло усвідомлення того що, не створивши сприятливих умов для розвитку високотехнологічного виробництва, не визначивши його як пріоритетний напрямок розвитку економіки, вони будуть втрачати не тільки доходи, а й основний рушій інноваційного розвитку країни. Крім того, країна буде позбавлена права, будь-яким чином впливати на політику, яка реалізується на міжнародному ринку продукції високих технологій, а цим правом успішно користуються такі країни, як США, Великобританія, Німеччина, Франція і Японія.

5.2 Визначення трудомісткості та тривалості роботи

Основною принципом раціонального плану вивчення наукової проблеми, літератури, самого дослідження, підсумування результатів експерименту, є зменшення строків виконання при якомога менших витратах трудових, матеріальних та грошових ресурсів. Для цього необхідно вирішити наступні питання: визначення трудомісткості та тривалості науково-дослідницької роботи; складання календарного графіка виконання; визначення матеріальних затрат на проведення і ефективність дослідження.

Науково-дослідницька робота поділена на етапи. Для кожного етапу вказані їх назви, виконавці, трудомісткість та строк робіт. В даній роботі беруть участь науковий керівник і студент магістр. Значення тривалості та трудомісткості всіх робіт наведені в таблиці 5.1. Графік виконання робіт зображено на рисунку 5.1.

Робота виконується науковим керівником (НК) та студентом магістром (СМ).

Таблиця 5.1 – Оцінка тривалості та трудомісткості етапів робіт

№	Етапи науково-дослідницької роботи (НДР)	Часові оцінки НДР, днів			Дисперсія	Виконавці		Тривалість, днів
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{оч}}$		Спеціальність	Число чоловік	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Складання та затвердження технічного завдання	1	4	2	0.6	НК	1	2
2	Літературний огляд теми	16	26	20	2	СМ	1	16
3	Матеріал та методика дослідження	7	10	8	0.6	НК СМ	1 1	5
4	Експериментальна частина	10	14	12	0.8	НК СМ	1 1	8
5	Дослідження причин руйнування вальниці	8	14	11	1.2	СМ	1	10

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

6	Економічна частина	4	10	7	1.2	НК СМ	1 1	3
7	Техніко-економічне обґрунтування	2	6	4	0.8	СМ	1	2
8	Розробка заходів з охорони праці	10	14	12	0.8	НК СМ	1 1	4
9	Оформлення звіту	4	16	9	2.4	СМ	1	5
	Разом	62	114	85	-	-	-	55

№	Виконавець	Жовтень				Листопад				
		1–2	2–18	18–23	23–31	31–41	41–44	44–46	46–50	50–55
1	НК									
2	СМ									
3	НК та СМ									
4	НК та СМ									
5	СМ									
6	НК та СМ									
7	СМ									
8	НК та СМ									
9	СМ									

Рисунок 5.2 – Графік виконання робіт

Науково – дослідницька робота повинна виконуватися поетапно. Кожний етап має бути завершеним до початку іншого. Побудуємо календарний план виконання робіт.

5.3 Підрахування кількості витрат на практичну реалізацію проекту

При розрахунку затрат на реалізацію проекту враховуються всі матеріальні витрати, необхідні для виконання всіх робіт. Проте в даному випадку, ситуація ускладнюється тим фактом, що невідомий точний список деяких послуг, товарів та витрати на них. Проте цю проблему можна вирішити за використання методики збільшення розрахунків. Дана методика передбачає по-перше первинне обчислення основної заробітної плати, а вже після цього – відсоткових частин інших статей витрат на реалізацію проекту. Статті, витрати за якими можуть бути розраховані більш точно, розраховуються за звичайною методикою.

Для того, щоб з'ясувати кількість грошових витрат, потрібно зробити кошторис витрат, до якого входить:

- обладнання для здійснення задумів роботи;
- покупні вироби і матеріали;
- обчислення заробітної плати;
- відрахування на єдиний соціальний внесок;
- накладні витрати.

5.3.1 Обладнання для виконання науково-дослідницької роботи

До переліку витрат на спеціальне обладнання входять витрати на мікроскоп та твердомір. Мікроскоп необхідний для дослідження мікроструктури зразків. Твердомір був використаний для вимірювання

твердості зразків і оцінки їх механічних властивостей. Кошторис витрат на спеціальне обладнання зведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Обчислення вартості обладнання

Обладнання	Модель	Кількість, штук	Вартість, грн	Строк експлуатації, років	Амортизація, грн
Мікроскоп	МІМ-8	1	32000	15	2133,3
Твердомір по Роквеллу	ТС-Р	1	41400	15	2760
Транспортно- заготівельні витрати		-	1000	-	-
Усього	-	2	74400	-	79293,3

Загальна вартість обладнання з урахуванням амортизації складе:

$$74400 + 4893,3 = 79293,3 \text{ (грн)}$$

5.3.2 Розрахунок вартості матеріалів

В цьому пункті йдеться про затрати на основні та допоміжні матеріали, потрібні для реалізації дипломного проекту. Під час виконання науково-дослідницької роботи були використані матеріали, вартість яких описана в таблиці 5.3. Для виконання роботи було використано папір, ручки, олівці. Для підготовки зразків було використано азотну кислоту, фільтрувальний папір та шліфувальний папір.

Таблиця 5.3 – Вартість основних та допоміжних матеріалів

Найменування	Кількість, шт	Ціна, грн	Вартість, грн	Частка, %
Папір А4	150	0,30	45	24,59
Ручка	2	8	16	8,74
Олівець	2	4	8	4,37
Азотна кислота (HNO ₃)	1	53	53	28,96
Фільтрувальний папір	1	29	29	15,85
Шліфувальний папір	2	6	12	6,55
Транспортно-заготівельні витрати			20	10,93
Разом			183	100

Вартість основних та допоміжних матеріалів складатиме 183 грн.

5.3.3 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата – грошова винагорода за виконану працівником роботу, яка залежить від кваліфікації працівника, робочого дня, об'єму виконаної роботи, її важкості, ступені шкідливих умов при їх наявності тощо. Також до неї входять премії та компенсації. Розрізняють основну та

додаткову заробітну плату. В таблиці 5.4 представлені витрати на основну заробітну плату.

Таблиця 5.4 – Витрати на основну заробітну плату

Посада працівника	Чисельність працівників, чол.	Щомісячний оклад, грн	Середньоденний оклад, грн	Кількість робочих днів	Загальна заробітна плата, грн
Науковий керівник	1	8975	299,2	22	6582,4
Магістр студент	1	1649	54,9	53	2909,7
Всього	2	—	—	—	9492,1

Витрати на основну заробітну плату складуть 9492,1 грн.

Додаткова заробітна плата – це 50% від основної. Витрати на додаткову заробітну плату зведені в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Основна та додаткова заробітна плата

Посада робітника	Додаткова заробітна плата, гривень	Сума основної та додаткової заробітної плати, гривень
Старший науковий співробітник	3291,2	9873,6
Молодший науковий співробітник	1454,9	4364,6
Усього	4746,05	14238,2

Сума основної та додаткової заробітної плати складе 14238,2 грн.

5.3.4 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Відрахування на єдиний соціальний внесок (ЄСВ) визначається в розмірі 22% від суми основної та додаткової заробітних плат. Розрахуємо ЄСВ за формулою 5.3.

$$\text{ЄСВ} = (3\text{П}_{\text{осн}} + 3\text{П}_{\text{дод}}) \cdot 0,22 = 14238,2 \cdot 0,22 = 3132,404 \text{ (грн)}, \quad (5.3)$$

де $ЗП_{\text{осн}}$ - основна заробітна плата, гривень;

$ЗП_{\text{дод}}$ - додаткова заробітна плата, гривень;

Отже, відрахування на ЄСВ складатимуть 3132,404 грн.

5.3.5 Накладні витрати

Накладні витрати охоплюють витрати на обслуговування виробництва, організацію та управління їм. Крім цього сюди ще входять будівельні, оздоблювальні та інші типи робіт.

Накладні витрати (НВ) по реалізації проекту визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців. Вони складають 30%. За формулою 5.4 розрахуємо НВ.

$$\text{НВ} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,3 = 14238,2 \cdot 0,3 = 4271,46 \text{ (грн)} \quad (5.4)$$

Накладні витрати складуть 4271,46 грн.

В таблиці 5.6 зведені всі витрати на виконання даної науково-дослідницької роботи.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат для реалізації НДР

Стаття витрат	Сума, грн	Питома вага, %
Основна заробітна плата	9492,1	9,39
Додаткова заробітна плата	4746,05	4,69
Амортизація	79293,3	78,42
Матеріали	183	0,18
Накладні витрати	4271,46	4,22
Відрахування на єдиний соціальний внесок	3132,404	3,09
Усього	101118,314	100

Загальні витрати на реалізацію НДР складають 101118,314 грн.

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково – дослідницької роботи, яка має суто теоретичний характер

Для теоретичних аналізів майже завжди складно чи навіть неможливо обчислити економічний коефіцієнт. Через це раціонально буде з'ясувати їх техніко – економічну ефективність з огляду на наступні ознаки:

- значущість дослідження;
- важкість проекту;
- плідність і перспективність застосування.

Значущість теоретичного дослідження визначають за його призначенням:

- пошук новітніх технологічних рішень;
- рішення важких питань;
- відповідати вимогам спеціальної техніки.

Важкість реалізації проекту визначається зіставленням одержаних результатів цієї роботи з результатами схожих загальновідомих досліджень зважаючи на кількість грошових та трудових витрат.

Результативність цієї роботи з'ясовується по повноті рішень поставленого завдання.

Обміркування залежності між ознаками результативності НДР і витратами на їх досягнення дозволяє зробити кількісну оцінку техніко – економічної ефективності за формулою:

$$K_{\text{ндр}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T \cdot \gamma}{B_{\text{ндр}} \cdot t_{\text{ндр}}} \quad (5.5)$$

де $K_{\text{ндр}}$ – ступінь ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

J – важливість роботи;

R – результативність роботи;

T – технічна складність виконання НДР;

γ – питомий ефект на 1 бал, що дорівнює 1000 грн;

$B_{\text{ндр}}$ – витрати на реалізацію НДР;

$t_{\text{ндр}}$ – час проведення НДР;

n – показник використання результатів НДР (результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах).

Дані показники визначаються з таблиць 5.7, 5.8, 5.9, 5.10

Таблиця 5.7 - Шкала для оцінки важливості розробки $K_{\text{ндр}}$

№ з/п	Показник	Бали
1	Ініціативна робота, що не є частиною комплексної програми, або завданням відомчих органів	1
2	Робота, виконувана за договором про науково-технічну Допомогу	3
3	Робота представляє частину відомчої програми	5
4	Робота представляє частину відомчої комплексної програми	7
5	Робота представляє частину міжнародної комплексної програми	8

Важливість розробки оцінена в 1 бал.

Таблиця 5.8 - Шкала оцінки можливості використання результатів розробки n

№ з/п	Показник	Бали
1	У даному підрозділі	1
2	У даній організації	3
3	У багатьох організаціях	5

4	У масштабах країни	8
---	--------------------	---

Можливість використання розробки оцінена в 3 бали.

Таблиця 5.9 – Шкала оцінки теоретичної значимості й рівня новизни дослідження J

№ з/п	Показник	Бали
1	Аналіз, узагальнення й класифікація відомої інформації. Подібні результати були відомі в досліджуваній області	2
2	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомі в досліджуваній області	3
3	Одержання нової інформації, що змінює уявлення про сутність досліджуваних процесів, не відомої раніше	5
4	Створення нових теорій, методик	6
5	Одержання інформації, що сприяє формуванню напрямків, не відомих раніше	8

Теоретична значимість та рівень новизни оцінено у 3 бали.

Таблиця 5.10 – Шкала оцінки показників складності Т

№ з/п	Показник	Бали
1	Робота виконується одним підрозділом, витрати менш 10000 грн	1
2	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000-50000 грн	3
3	Робота виконується одним підрозділом, витрати 50000 - 100000 грн	5
4	Робота виконується за участю багатьох підрозділів, витрати 100000 - 500000 грн	7
5	Робота виконується декількома організаціями, витрати понад	8

	500000 грн	
--	------------	--

Показники складності були оцінені в 5 бали.

Час проведення НДР ($t_{\text{ндр}}$) можна розрахувати за наступною формулою:

$$t_{\text{ндр}} = \frac{t}{t_{\text{max}}} = \frac{55}{114} = 0,48, \quad (5.6)$$

де t – загальна тривалість, днів проведення роботи.

Розрахуємо за формулою 5.5 ступінь ефективності дослідження підставивши всі обрані значення:

$$K_{\text{ндр}} = \frac{3^3 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1000}{101118,314 \cdot 0,48} = 2,77$$

В цьому розділі була обґрунтована економічна ефективність науково–дослідницької роботи. Обчислено, що строк виконання науково–дослідницької роботи вимірюється у терміні приблизно 55 днів. Багато часу було зекономлено завдяки одночасній роботі наукового керівника та студента магістра. При цьому загальні затрати на роботу дорівнюють 101118,314 грн, з них:

- основна та додаткова заробітна плата – 14238,2 грн (14,08 %);
- накладні витрати – 4271,46 грн (4,69 %);
- амортизація – 79293,3 грн (78,42 %);
- матеріали – 183 грн (0,18 %);
- відрахування на ЄСВ – 3132,404 грн (3,09 %);

Оскільки $K_{\text{ндр}} \geq 1$, то можна зробити висновок, що виконана робота є ефективною.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз характеристик та особливостей експлуатації шестерен. Розглянуто основні матеріали для шестерен, вплив легувальних елементів на їх структуру та властивості та основні методи їх хіміко-термічної обробки. Проведено аналіз технологічних процесів хіміко-термічної обробки, структурних перетворень в металах та можливих дефектів.

Розроблена технологія хіміко-термічної обробки шестерні рулевого управління.

Встановлено, що нітроцементация приводить до різкого подрібнення зерна поблизу поверхні зразка. У міру віддалення від поверхні в глиб зразка середній розмір зерна спочатку швидко зростає, і на глибині 0,2 мм від поверхні перевищує вихідне значення практично в 2 рази, потім убуває, наближаючись до вихідного стану зразка.

Ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей 20ХНЗА, 20ХГСНТ при досліджених значеннях енергії удару в 3-5 разів вище ударно-циклічної витривалості стали 18ХГТ. Ударно-циклічна витривалість нітроцементованих сталей 18ХГТ 20ХНЗА, 20ХГСНТ не пов'язана з ударною в'язкістю сталей, а залежить від межі витривалості при згині.

В розділі з охорони праці і навколишнього середовища були проаналізовані потенційні небезпеки в технологічному відділенні механічного цеху машинобудівного заводу та заходи по забезпеченню безпеки. Робоче приміщення повинно бути оснащено штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площини.

В економічній частині було обґрунтовано економічність ефективність дипломної роботи. Розраховано, що строк виконання дипломної роботи вимірювався у терміні приблизно 55 днів. Оскільки $K_{\text{ндр}} \geq 1$, це свідчить про

те, що виконана робота є ефективною.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М: Машиностроение, 1990. 528с.
2. Гулиев А.П. Металловедение. М: Металлургия, 1986. 542с.
3. Гольдштейн Н.И., Грачев С.В., Векслер С.Г. Специальные стали. М: Металлургия, 1985. 408с.
4. Марочник сталей и сплавов: Справочник / под ред. В.Г. Сорокина. М: Машиностроение, 1989. 640с.
5. Журавлев В.Н., Николаева О.Н. Машиностроительные стали: Справочник. М: Машиностроение, 1981. 392с.
6. Машиностроительные материалы: Краткий справочник / под ред. В.М. Раскатова. М: Машиностроение, 1980. 512с.
7. Башнин Ю.А., Ушакова Б.К., Секей А.Г. Технология термической обработки стали. М: Металлургия, 1986. 424с.
8. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / под. Ред. Ю.М. Лахтина и А.Г. Рахштада. М: Машиностроение, 1980. 784с.
9. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов. К-Донецк: Высшая школа, 1984. 328с.
10. Сатамовский Л.Г., Мирский Ю.А. Нагревательные и термические печи в машиностроении. М: Металлургия, 1971. 384с.
11. Козлов Э.В., Малиновская В.А., Попова Н.А., Сизоненко Н.Р. Формирование градиентных структурно-фазовых состояний в конструкционной стали при нитроцементации и термической обработке. *Тяжелое машиностроение*. 2005. № 11. С. 26–28.
12. Козлов Э.В., Малиновская В.А., Попова Н.А., Игнатенко Л.Н., Сизоненко Н.Р. Влияние нитроцементации на структуру стали 20Х2Н4А. *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2005. Т. 2, № 3. С. 85–89.

13. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М. : Металлургия, 1970. 376 с.
14. Кальнер В.Д., Ковригин В.А., Старокожев Б.С., Юрасов С.А. Комплексное насыщение стали углеродом, азотом и кислородом. *MиТОМ*. 1977. № 9. С. 15–17.
15. Анащенко В.Н., Гуляев А.П. Нитридное упрочнение чистого железа и сплавов на его основе. *MиТОМ*. 1980. № 1. С. 5–10.
16. Виноград М.И., Ульянина И.Ю., Файвилевич Г.А. О механизме роста зерна аустенита в конструкционных сталях. *MиТОМ*. 1975. № 1. С. 5–11.
17. Попов И.Н., Крохалев А.В., Седов Э.В. и др. Влияние нитроцементации на ударно-циклическую выносливость низколегированных сталей. *Металловедение и прочность материалов: межвуз. сб. науч. трудов / ВолгГТУ. Волгоград, 2003. – С. 62-66.*
18. Тихонов А.К., Палагин Ю.М. Метод испытаний шестерен на ударный изгиб. *MиТОМ*, 1994.- №12.- С.32-34