

Мартинюк Сергій Сергійович, ст. гр. ІФ 213
Керівник к.т.н., доцент Климов Олександр Іволодимирович
Тема: «Раціоналізація процесів хіміко-термічної обробки деталей
автомобілів з урахуванням масштабів виробництва»

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи містить: с., рис.,
табл.,джерел.

Метою дипломної роботи є порівняльний аналіз та визначення впливу
цементациї та нітроцементациї на структуру та властивості деталей машин з
конструкційних сталей.

Предметом дослідження є використання хіміко-термічної обробки для
підвищення властивостей поверхневого шарів деталей машин з
конструкційних сталей.

Об'єктом дослідження є конструкційні сталі з дифузійно-насиченим
поверхневим шаром.

Досліджено вплив різних режимів хіміко-термічної обробки на
структуру на механічні властивості поверхневих шарів конструкційних
сталей. Показано підвищену ефективність застосування нітроцементациї як
хіміко-термічної обробки шестерень зі сталі 20 в порівнянні з цементациєю.
Виявлено, що високотемпературна нітроцементация нітроцементация
знижувала границю витривалості зразків зі сталі 30ХГТ. Низькотемпературна
нітроцементация підвищувала границю витривалості, проте знижувала
твердість поверхневого шару.

Розглянуто особливості технологічних процесів ХТО, що
використовуються на виробництві.

Розраховано економічний ефект від використання нітроцементациї
замість цементациї. Розглянуті заходи для збереження життя та здоров'я
працівників лабораторії.

ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ЦЕМЕНТАЦІЯ, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ,
ГРАНИЦЯ ВИТРИВАЛОСТІ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, СТАЛЬ 20,
30ХГТ

ЗМІСТ

<u>ЗАВДАННЯ</u>	<u>2</u>
<u>ВСТУП</u>	<u>8</u>
<u>1 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ХАРАКТЕРИСТИК ТА ТЕРМООБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</u>	<u>9</u>
<u>1.1 Характеристика та особливості експлуатації деталей автомобілів.....</u>	<u>9</u>
1.1.1 Основні види деталей машин.....	10
1.1.2 Можливі причини відмов деталей машин.....	15
<u>1.2 Основні матеріали, що застосовуються для виготовлення деталей машин.....</u>	<u>19</u>
<u>1.3 Вплив легуючих елементів на структуру та властивості сталей для деталей машин</u>	<u>22</u>
<u>1.4 Методи термічної обробки деталей машин</u>	<u>24</u>
1.4.1 Підготовка структури.....	24
1.4.2 Надання основних властивостей.....	26
1.4.3 Методи підвищення твердості поверхневого шару деталей машин.....	29
<u>1.5 _____ Мета _____ та _____ постановка _____ завдання роботи.....</u>	<u>31</u>
<u>2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....</u>	<u>32</u>
<u>2.1 Матеріали та технологія їх отримання.....</u>	<u>32</u>
<u>2.2 Дослідження механічних властивостей</u>	<u>32</u>
<u>2.3 Мікроскопічні дослідження</u>	<u>36</u>
<u>3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО РЕЖИМУ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ.....</u>	<u>37</u>
<u>3.1 Аналіз технологічного процесу цементації</u>	<u>37</u>
3.1.1 Структурні перетворення при цементації.....	37
<u>3.2 Аналіз технологічного процесу нітроцементації.....</u>	<u>39</u>
3.2.1 Структурні зміни в металі при нітроцементації	39

	6
3.2.2 Переваги і недоліки нітроцементациі.....	40
<u>3.3 Порівняльний аналіз властивостей конструкційних сталей після різних варіантів ХТО</u>	<u>42</u>
3.3.1 Температура і тривалість процесу.....	42
3.3.2 Твердість і зносостійкість поверхневого шару.....	44
3.3.3 Втомна міцність.....	54
3.4 Заключення до розділу.....	59
<u>4 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ.....</u>	<u>60</u>
<u>4.1 Технологія цементациі.....</u>	<u>60</u>
<u>4.2 Дефекти після цементациі.....</u>	<u>66</u>
<u>4.3 Технологія нітроцементациі.....</u>	<u>71</u>
4.4 Основні дефекти, що виникають при нітроцементациі.....	76
4.5 Обладнання, що застосовується для проведення ХТО.....	79
<u>5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</u>	<u>81</u>
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	81
5.2 Система планування та управління.....	82
<u>5.2.1 Складання переліку етапів робіт</u>	<u>82</u>
5.2.2 Графік Ганта.....	85
5.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення НДР.....	87

5.3.1 Розрахунок вартості матеріалів.....	89
5.3.2 Спеціальне устаткування для науково – технічних робіт	89
5.3.3 Розрахунок вартості палива і енергії.....	90
5.3.4 Розрахунок амортизації універсального устаткування.....	92
5.3.5 Розрахунок заробітної плати.....	92
5.3.6 Відрахування на соціальні заходи.....	93
5.3.7 Накладні витрати.....	94
5.3.8 Кошторис витрат.....	94
5.3.9 Бальна оцінка економічної ефективності науково–дослідної роботи.....	95
<u>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</u>	<u>97</u>
<u>6.1 Аналіз потенційних небезпек.....</u>	<u>97</u>
<u>6.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки</u>	<u>98</u>
<u>6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....</u>	<u>102</u>
<u>6.4 Заходи з пожежної безпеки.....</u>	<u>104</u>
<u>6.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях</u>	<u>105</u>
<u>ВИСНОВКИ.....</u>	<u>110</u>
<u>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</u>	<u>112</u>

ВСТУП

Хіміко-термічна обробка є одним з ефективних способів поверхневого зміцнення деталей машин та інструментів. Вона полягає в насиченні поверхневого шару сталі заданим елементом (або декількома). Найбільш поширеними видами ХТО є цементация, азотування, нітроцементация.

Цементация вже довгий час використовується на підприємствах. Нітроцементация пропонується як заміна цьому процесу, адже вона має ряд переваг. Серед них можна відзначити високу технологічність процесу, простоту і зручність регулювання параметрів. Підбираючи температурний режим, склад газової суміші і, особливо, час обробки, можна легко регулювати товщину шару, який насичується в залежності від необхідних вимог. Низька температура обробки знижує ризик деформації виробу і спрощує подальше гартування, оскільки необхідний лише мінімальний час для зниження температури заготовки. Таким чином зменшується час технологічного циклу виробництва продукції. Оброблені вироби мають високу якість поверхні і підвищені фізико-механічні властивості. У низьколегованих сталях після обробки спостерігається підвищення корозійної стійкості. Також, нітроцементация дає перевагу в часі обробки до 50 - 60%. Таким чином, основні переваги нітроцементации полягають в скороченні часу виробництва з мінімальним ризиком негативного впливу на геометрію деталей.

Проте, вплив нітроцементации на зносостійкість та границю витривалості поверхневого шару порівняно з цементацию досі залишається неоднозначним. Таким чином, актуальним є комплексне дослідження впливу обраних варіантів ХТО на характеристики поверхневого шару деталей і подальший вибір ефективного режиму, який б забезпечував найвищі характеристики деталей при мінімальних затратах на обробку.

1 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ХАРАКТЕРИСТИК ТА ТЕРМООБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1 Характеристика та особливості експлуатації деталей автомобілів

Розвиток сучасної науки і техніки, так само як і соціально-економічний розвиток суспільства, нерозривно пов'язано зі створенням нових машин і приладів, які забезпечують підвищення продуктивності і полегшення або заміну праці людини, а також надають засоби дослідження законів природи і життя людини. Конструкції сучасних машин безперервно удосконалюються відповідно до росту вимог експлуатації, появи нових матеріалів, можливості отримання елементів конструкції потрібної форми, розмірів і необхідних властивостей [1].

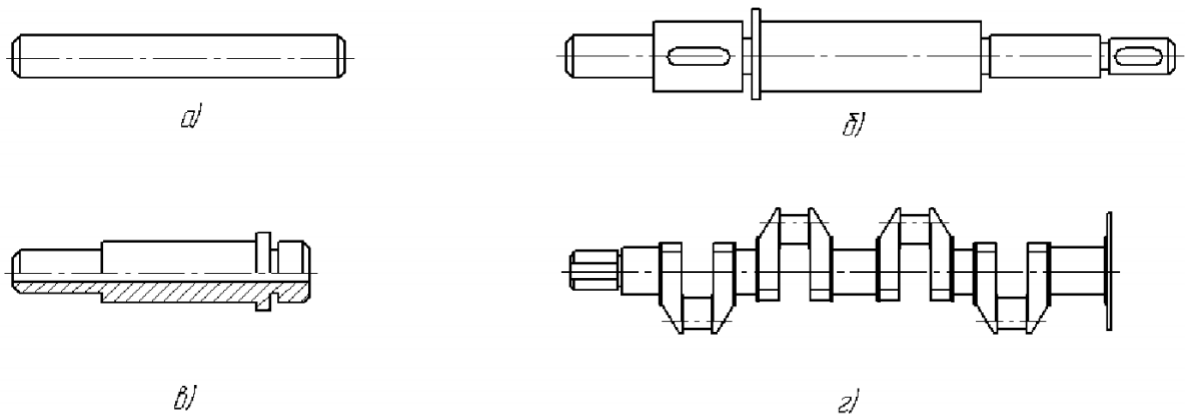
Кожна машина складається з деталей, частково або повністю об'єднаних в вузли. Деталь - це виріб, виготовлений з однорідного по найменуванню і марці матеріалу без застосування складальних операцій. Наприклад, валик з одного куску металу, гвинт, литий корпус і т.д. Вузол - це виріб, що представляє собою закінчену складальну одиницю, отриману з'єднанням за допомогою складальних операцій (звинчування, клепання, зварювання і т.п.) ряду деталей, що мають загальне функціональне призначення. Наприклад, підшипник кочення, муфта, редуктор і т.д [2].

Серед безлічі деталей і вузлів можна виділити такі, які застосовуються практично у всіх машинах і приладах (болти, вали, муфти, підшипники, механічні передачі і т.д.). Ці деталі і вузли зустрічаються в самих різних машинах, мають однакове призначення, виконують однакові функції і є однотипними за формою. Зазначені деталі і вузли називають деталями і вузлами загальномашинобудівного застосування [3].

1.1.1 Основні види деталей машин

Вали - деталі, призначені для передачі крутного моменту уздовж своєї осі і для підтримки обертових деталей машин (рис. 1.1). Вали обертаються в підшипниках.

Вали поряд з функціями підтримки деталей і забезпечення їх геометричній осі обертання передають крутний момент від встановлених на них деталей. Окрім крутних моментів вали сприймають поперечні сили і згинаючі моменти від зусиль в зачепленнях зубчастих коліс, опорах, муфтах і т.д. Вали обов'язково обертаються разом із сидячими на них деталями і крім нормальних напружень від вигину зазнають також дотичні напруження кручення, а в деяких випадках напруження розтягу або стиснення від осьових сил [4].



- а) гладкий вал постійного діаметра; б) прямий ступінчастий вал; в) прямий фасонний вал; г) колінчастий вал

Рисунок 1.1 – Основні види валів [4]

Основними критеріями працездатності валів і осей є:

- міцність, що забезпечує в першу чергу виключення втомних поломок, а також поломок від нестачі статичної міцності;
- жорсткість валів і осей; недостатня їх жорсткість істотно позначається на працездатності деталей, що на них сидять (зубчастих коліс, підшипників і ін.);
- вібростійкість валів і осей; зазвичай цей критерій важливий для високошвидкісних машин; власна частота коливань вала або осі з сидячими на них деталями не повинна збігатися або бути близькою частоті збуджуючих сил з метою уникнути явищ резонансу, коли можуть виникати неприпустимі деформації і перенапруги деяких перетинів вала або осі;
- зносостійкість; є важливим критерієм працездатності для опорних ділянок валів і осей-цапф, наприклад, коли діляниця працює як складовий елемент підшипника ковзання.

Підшипниками називають пристрої, призначені для підтримки в заданому положенні в просторі і забезпечення обертання або коливання валів і осей, а також передачі від них зусиль на корпус. Від конструкції опор-підшипників багато в чому залежить точність дії і надійна робота механізму в цілому (рис 1.2) [3].

По виду тертя підшипники класифікують на:

- підшипники ковзання, у яких опорна ділянку валу (цапфа, шийка, шип, п'ята) ковзає по поверхні втулки-вкладиша, встановленого в корпусі;
- підшипники кочення, у яких тертя ковзання замінено тертям кочення за допомогою установки тіл кочення (кульок або роликів) між кільцями, одне з яких закріплюється на валу, друге - в корпусі машини.

Область застосування підшипників ковзання обмежується механізмами, в яких опори кочення не забезпечують необхідної надійності або є недоступними. До них відносяться парові і газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння, відцентрові насоси, центрифуги, верстати, прокатні стани, механізми приладів і ін.

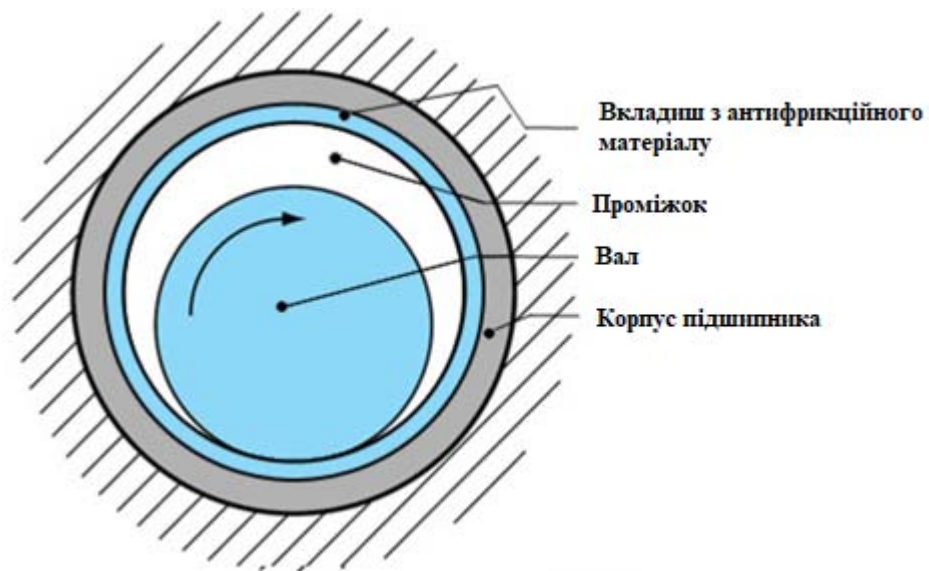


Рисунок 1.2 – Будова підшипників ковзання

Переваги підшипників ковзання:

- безшумність роботи;
- надійність роботи в умовах ударних і вібраційних навантажень внаслідок великих розмірів робочої поверхні і високої демпфуючої здатності масляного шару;
- порівняно проста конструкція;
- можливість роботи при особливо високих частотах обертання, коли підшипники кочення мають малу довговічність;
- невеликі радіальні габарити.

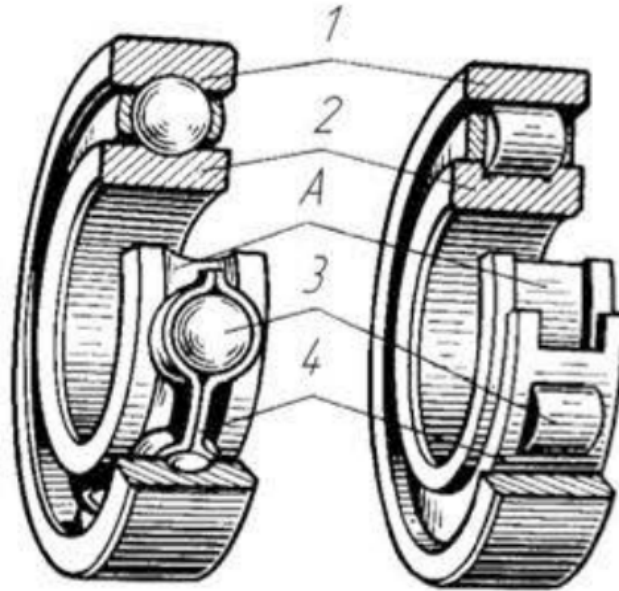
Недоліки підшипників ковзання:

- необхідність подачі великої кількості мастила в процесі роботи;
- необхідність періодичної заміни деталей внаслідок підвищеного зносу робочих поверхонь через значних втратах на тертя в період пуску, зупинки і при недосконалій змазці;
- збільшені осьові габарити.

Критеріями працездатності підшипників ковзання є зносостійкість, теплостійкість і міцність матеріалу вкладиша.

Підшипники кочення є основним видом опор в різних галузях машино- і приладобудування. Підшипники кочення стандартизовані в

широкому діапазоні типорозмірів (рис. 1.3). Вони випускаються в масовому масштабі, що забезпечує високу якість виготовлення і порівняно низьку вартість [1, 5].



1) зовнішнє кільце; 2) внутрішнє кільце; 3) тіло кочення; 4) сепаратор

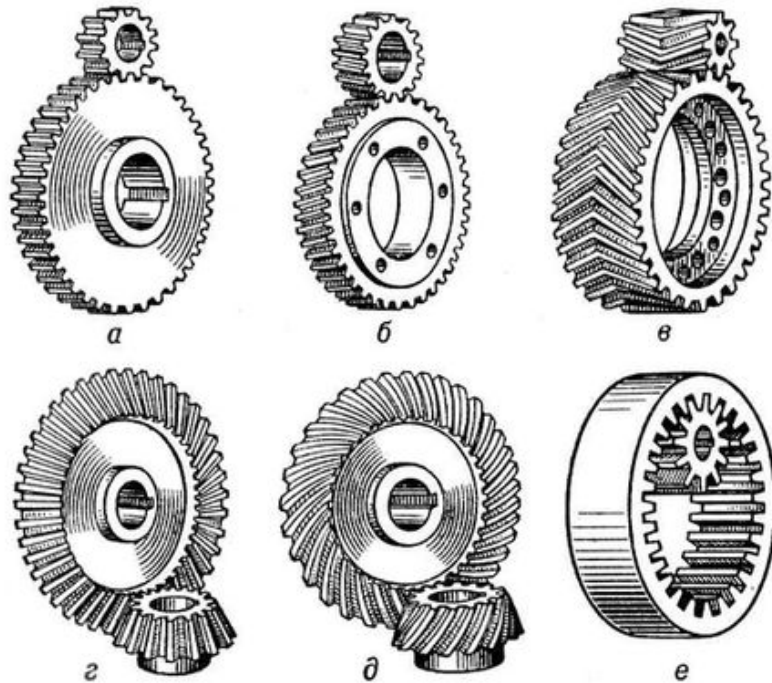
Рисунок 1.3 – Конструкція підшипників кочення

Основні переваги підшипників кочення в порівнянні з підшипниками ковзання: 1) менші моменти тертя при пуску; 2) менші осьові габаритні розміри; 3) простота обслуговування і мала витрата мастильних матеріалів; 4) повна взаємозамінність; 5) порівняно низька ціна в зв'язку з масовим виробництвом; 6) менша витрата кольорових металів [2].

До недоліків підшипників кочення відносять; 1) великі радіальні габаритні розміри; 2) значні контактні напруги, що обмежують ресурс; 3) мала змінна по куту повороту, осьова і радіальна жорсткість; 4) підвищений шум; 5) чутливість до ударних і вібраційних навантажень [6].

Зубчасті передачі – це механізми, які за допомогою зубчастого зачеплення передають або перетворюють рух зі зміною кутових швидкостей та моментів (рис. 1.4). Зубчасте колесо або шестерня – основна деталь зубчастої передачі у вигляді диска із зубцями на циліндричній або конічній

поверхні, що входять в зачеплення з зубцями іншого зубчастого колеса. У машинобудуванні прийнято менше зубчасте колесо називати шестернею, а більше – колесом [5].



а) прямозуба; б) косозуба; в) шевронна; г) конічна; д) з круговим зубом; е) з внутрішнім зчепленням

Рисунок 1.4 – Види зубчастих передач

Серед механічних передач зубчасті передачі набули найбільшого поширення. Це пояснюється рядом їх переваг, основні з яких [7]:

- можливість застосування в широкому діапазоні потужностей (від десятих часток до десятків тисяч кВт), швидкостей (до 200 м/с) і передавальних відносин (до декількох тисяч);
- компактність в порівнянні з іншими передачами. При однаковому моменті на валах зубчата передача по габаритам приблизно в 10 разів менше пасової;
- високий ККД (до 0,99 в одному ступені);
- велика довговічність і надійність в роботі в порівнянні з іншими передачами;

- сталість передавального відносини;
- відносна простота обслуговування.

До недоліків зубчастих передач відносяться:

- високі вимоги до точності виготовлення і монтажу;
- шум і ймовірність виникнення вібрації при високих швидкостях, що пов'язано з динамічної нестійкістю системи (явища резонансу);
- неможливість безступінчатої зміни передавального відношення .

1.1.2 Можливі причини відмов деталей машин

Причинами відмов деталей машин можуть бути помилки при розрахунку, порушення технології виготовлення або умов експлуатації.

Деталі машин можуть виявитися непридатними в результаті появи неприпустимих пружних деформацій при розтягу, крутінні або при вигині. Надмірне згинання й крутильні деформації приводять до порушення умов сполучення в з'єднаннях з деталями й відносним положенням їхніх контактуючих елементів. На несівних ділянках залежно від типу з'єднання можуть виникнути змінання робочих поверхонь шпонкових пазів, зубців, зношування зубців, фрикційна корозія, концентрація тисків, що створює умови для зародження втомного руйнування [6].

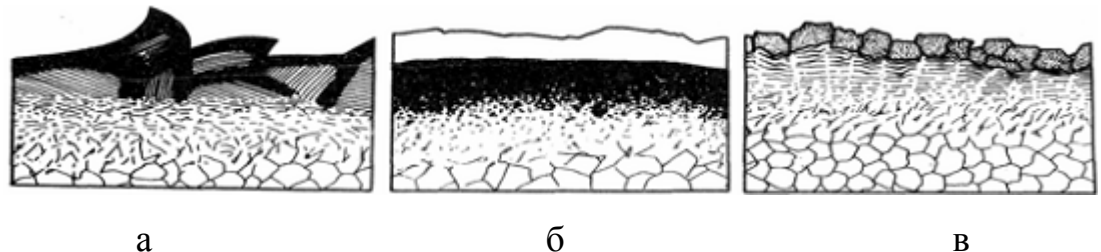
Поломки деталей машин у більшості випадків носять втомний характер і відбуваються в зоні концентрації напружень. Причинами, що викликають їх, можуть бути: невдалий вибір конструктивної форми деталі й неправильна оцінка впливу концентратора напружень, порушення норм експлуатації.

Зношування - це процеси руйнування й відділення матеріалу з поверхні твердого тіла й накопичення в ньому залишкової деформації при терті, що проявляється в поступовій зміні розмірів і форми тіла. Зношування

це результат вказаного процесу визначений у встановлених одиницях [8].

До неприпустимих процесів пошкоджуваності поверхонь тертя, можливість виникнення яких, як показує практика, досить велика, ставляться наступні.

Схоплювання I роду (холодний задир) - процес неприпустимої пошкоджуваності поверхонь тертя в результаті виникнення локальних металевих зв'язків, їхньої деформації й руйнування з відділенням частинок металу або налипанням їх на поверхні контакту. Виникнення металевих зв'язків відбувається при інтенсивній деформації, руйнуванні захисних плівок окислів і контактуванні ювенільних ділянок поверхні (рис. 1.5, а).



а - схоплювання I роду; б - схоплювання II роду; в - фретінг-процес

Рисунок 1.5 – Моделі будови поверхневих шарів [4]

Схоплювання I роду виникає при терті з ковзанням при малих швидкостях відносного переміщення й питомих навантаженнях, що перевищують границю плинності на ділянках фактичного контакту. Це може статися при відсутності шару мастила захисної плівки окислів між деталями, що контактують. Схоплювання I роду - один з найнебезпечніших і різко виражених видів ушкодження деталей машин (рис. 1.6).

Схоплювання II роду (гарячий задир) - процес неприпустимої пошкоджуваності поверхонь тертя в результаті виникнення місцевих металевих зв'язків, їхньої деформації й руйнування, що виражається в утворенні тріщин, намазуванні, переносі металу й відділенні частинок від поверхонь тертя. Виникнення металевих зв'язків при цьому обумовлено неприпустимим підвищенням температури на поверхнях тертя;

розм'якшенням, деформацією поверхневих шарів; контактуванням ювенільних поверхонь (рис. 1.5, б). Схоплювання II роду виникає при терті ковзанням з більшими швидкостями відносного переміщення й значними питомими навантаженнями, що обумовлюють інтенсивне підвищення температури й стан термічної пластичності в поверхневих шарах що труться. Це небезпечне й досить розповсюджене явище пошкодження деталей.

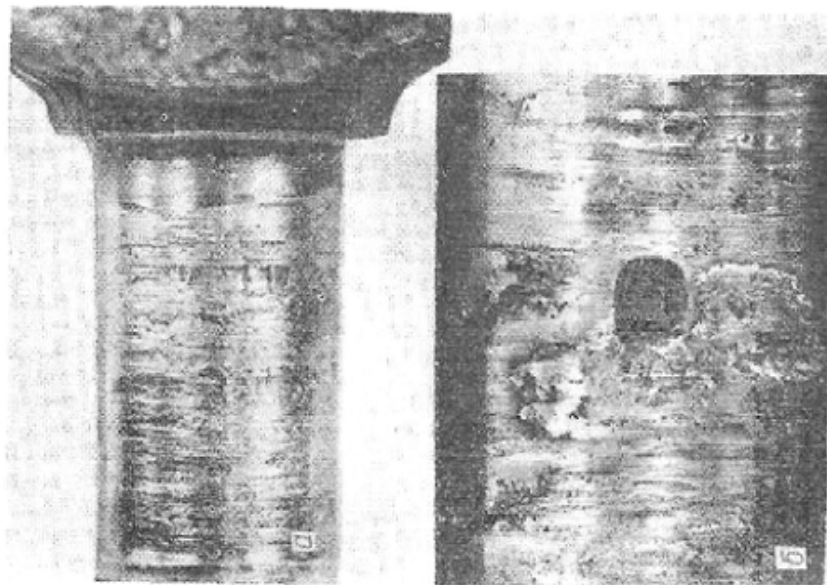
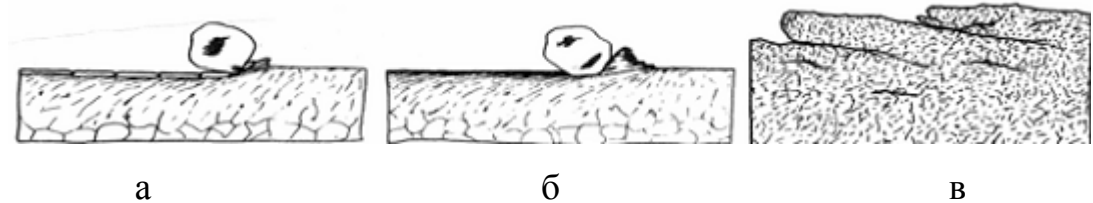


Рисунок 1.6 – Вид деталей після утворення схоплювання 1-го роду [4]

Фретінг-процес це руйнування поверхонь тертя деталей машин, що виникає при терті ковзанням з дуже малими зворотно-поступальними переміщеннями й при динамічному додатковому навантаженні. Фретінг-процес - досить небезпечний вид пошкоджуваності, розповсюджений у машинах (рис. 1.5, в).

Абразивне зношування це процеси руйнування поверхні деталей машин, обумовлені наявністю абразивного середовища в зоні тертя. Існують дві форми прояву абразивних процесів, що відрізняються характером взаємодії частинок з поверхнею металу; з перевагою процесів окислювання (пластичне деформування поверхневих об'ємів, їхнє окислювання й наступне

руйнування плівок, що утворюються, - різновид окисного зношування (рис. 1.7, а) і з перевагою механічного руйнування металу (впровадження абразивних часток і руйнування поверхневих об'ємів металу зі зняттям мікростружки або без відділення металу (рис. 1.7, б).



а – окислювальне зношування; б – механічне руйнування; в –
контактна втома

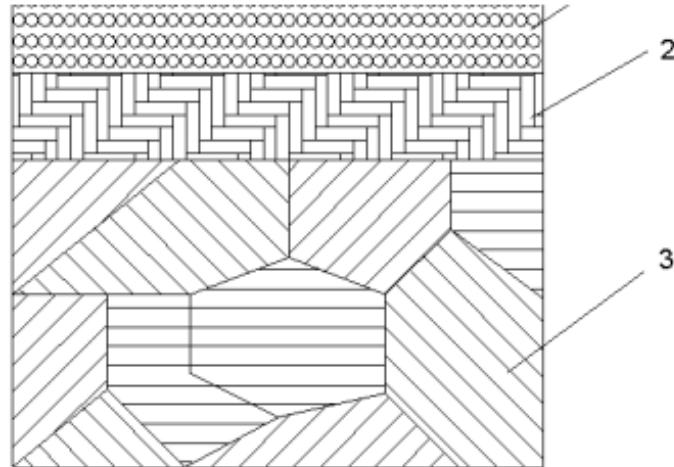
Рисунок 1.7 - Моделі будови поверхневих шарів [4]

Абразивне зношування може виникати в самому широкому діапазоні зовнішніх механічних впливів. Прояв окисної або механічної форми цього виду руйнування залежить від співвідношення механічних властивостей абразивних частинок і поверхневих шарів металу, що зношується. Абразивні процеси часто супроводжують іншими видами зношування й пошкодженості деталей машин.

Контактна втома (пітінг). Втомні ушкодження виникають у деталях машин при терті коченням (підшипники кочення, зубчасті зачеплення) і є результатом інтенсивного руйнування поверхневих шарів металу, що перебувають в особливих умовах напруженого стану. Руйнування поверхонь при втомних ушкодженнях характеризується виникненням мікротріщин одиничних і групових западин (рис. 1.7, в).

При нормальному терті, на відміну від рівноважного стану, у перетині поверхневих шарів можна виділити три зони (рис. 1.8), що відрізняються за своїм структурним станом: контактну зону 1 (зона вторинних структур) товщиною порядку тисяч нанометрів; підповерхневу зону 2 товщиною до декількох мікрометрів і зону вихідної структури 3. Зона 1 вторинних

структур має специфічну здрібнену орієнтовану будову. У зоні 2 спостерігаються звичайні дислокаційні структури, типові для сильно деформованих металів. У зоні 3 фіксується структура, що не піддавалася змінам [9].



1 - контактна зона, 2 - підповерхнева зона, 3 - вихідна (базова)
структура

Рисунок 1.8 - Схема будови поверхневих шарів при нормальному
механо-хімічному зношуванні [4]

1.2 Основні матеріали, що застосовуються для виготовлення деталей машин

Найпоширенішими матеріалами для деталей машин служать вуглецеві й леговані сталі завдяки високим механічним характеристикам, здатності до зміцнення й легкості одержання заготовок (табл. 1.1).

Низьковуглецеві нелеговані сталі типу Ст. 5 використовують для деталей простих конструкцій, що не зазнають високих навантажень у випадку масового виробництва. Вони дешеві та легко оброблюються, а їх механічні характеристики поступаються сталям інших типів. Термічна

обробка для таких сталей не застосовується. Структура таких сталей – феритоперлітна.

Таблиця 1.1 – Механічні характеристики деяких вуглецевих та легованих сталей [10]

Марка сталі	Твердість НВ, не менш	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{-1} , МПа
Ст 5	190	520	280	220
Сталь 45	270	800	550	350
40Х	270	900	650	380
40ХН	270	920	750	420
30ХГТ	320	1150	950	520
ШХ15	640	2160	1670	652

Для більшості деталей машин застосовують якісні середньовуглецеві і низьколеговані сталі типу 45, та 40Х. Їх піддають гартуванню з наступним високим відпуском (термічне поліпшення), що забезпечує гарний компроміс між легкістю оброблення та механічними характеристиками. Структура після термообробки – Сорбіт відпуску, що має високу в'язкість та підвищену твердість порівняно зі сталями звичайної якості [11].

Для високонагружених та відповідальних деталей (при обмеженнях їх ваги) застосовують леговані сталі: 40ХН, 40ХН2МА, 30ХГТ, 30ХГСА та ін. Ці сталі зазвичай піддають термopolіпшенню. Легувальні елементи в цих сталях зміцнюють твердий розчин, підвищуючи механічні характеристики сталі. Структура після термopolіпшення – легований сорбіт відпуску. Для цих сталей також застосовують поверхнєве гартування СВЧ. У поверхневому шарі деталі після гарту СВЧ утворюється мартенсит відпуску, а в серцевині деталі на різній глибині можуть бути сорбіт або троостит в залежності від хімічного складу сталі.

Для підшипників використовують спеціальні сталі типу ШХ15. Високий вміст хрому в цих сталях забезпечує відмінну прогартуваність та

високу твердість. Основною термообробкою для цих сталей є гартування з низьким відпуском, в результаті якої по всій площині деталі забезпечується структура мартенситу відпуску.

Деякі деталі потребують високої зносостійкості поверхневого шару, тому їх виготовляють із цементовних сталей типу 12ХН3А, 18ХГТ або сталей для азотування типу 38ХМЮА (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталей, що піддають ХТО [10]

Марка сталі	Твердість НВ, не менше	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{-1} , МПа
20Х	197	650	400	300
12ХН3А	260	950	700	420
12Х2Н4А	300	1100	850	500
18ХГТ	330	1150	950	520
38ХМЮА	300	1030	880	610
40ХН2МА	306	1080	880	519

Низький вміст вуглецю сталях для цементації зумовлений тим, що після термічної обробки виробів буде зберігатися необхідна міцність та в'язкість серцевини при невисокій твердості. Дифузійне насичення поверхні виробу вуглецем збільшує його вміст в поверхневому шарі до 0,8...1,1 %. Таким чином, поверхня виробу у відпаленому стані відноситься до заевтектоїдного структурного класу. Гартування та низькотемпературний відпуск забезпечують в поверхневому шарі структуру пересиченого твердого розчину мартенситу, що має твердість 59...64 HRC, аустеніту залишкового та карбідів. Мікроструктура серцевини буде складатися з маловуглецевого мартенситу. Твердість такої структури буде складати 32,0...43,5 HRC, а в'язкість та міцність, порівняно з поверхневим шаром, вища.

Поліпшувальні сталі для азотування типу 38ХМЮА обов'язково є легованими та мають в своєму складі 0,3...0,45% С. Твердість нітридів заліза відносно невисока: γ' -фази – HV 550 (HRC 50), ϵ -фази – HV 450 (HRC 44),

тому для азотування використовують спеціальні сталі (нітралої), що містять елементи, які мають більшу спорідненість до азоту, ніж залізо (Cr, Mo, W, Al, V, Ti). Азотовані шари можуть мати дуже високу твердість, яка сягає 1000...1200 HV, і суттєво перевищує твердість, яку можна отримати після цементації та гартування (750...950 HV) [11].

1.3 Вплив легуючих елементів на структуру та властивості сталей для деталей машин

Основними легувальними елементами розглядаємих сталей є хром (Cr), марганець (Mn), молібден (Mo) та нікель (Ni).

Хром - дуже поширений легуючий елемент. Він підвищує точку A3 і знижує точку A4 (закриває область γ -заліза). Температура евтектоїдного перетворення сталі (точку A1) у присутності хрому підвищується, а вміст вуглецю в евтектоїді (перліті) знижується.

Хром значно зменшує критичну швидкість гартування, тому хромована сталь має глибоку прогартуваність. Температура мартенситного перетворення при наявності хрому знижується. Хром перешкоджає росту зерна і підвищує стійкість проти відпуску, тому відпуск хромистих сталей проводиться при більш високих температурах у порівнянні з відпуском вуглецевих сталей. Хромисті сталі схильні до відпускнуї крихкості і тому після відпуску деталі слід охолоджувати швидко (в маслі).

Хром є карбідоутворюючим елементом. При розчиненні карбідоутворюючих елементів у цементиті утворюються карбіди, які називаються легованим цементитом. При підвищенні вмісту карбідоутворюючих елементів утворюються самостійні карбіди даного елемента з вуглецем, так звані прості карбіди, наприклад, Cr_7C_3 , Cr_4C , Mo_2C .

Всі карбіди дуже тверді (HRC 70 - 75) і плавляться при високій температурі (Cr_7C_3 приблизно при 1700°C).

Марганець не утворює свого карбіду, а тільки розчиняється в цементиті і утворює в сталях легований цементит. Також він утворює з залізом тверде з'єднання підвищує твердість і міцність сталі, кілька зменшуючи її пластичність. Марганець пов'язує сірку в з'єднання MnS , перешкоджаючи утворенню шкідливого з'єднання FeS . Крім того, марганець розкислює сталь. Сталь до складу якої входить велика кількість марганцю набуває істотної твердості та опору зносу [12].

Нікель є некарбідоутворюючим елементом. Розчиняючись в гратці фериту, він суттєво підвищує міцність та ударну в'язкість сталі; також значно збільшує прогартовуваність сталі.

Молібден має високу спорідненість до азоту, тому приймає участь в утворенні нітридів Mo_2N , що гальмують рух дислокацій та підвищують твердість азотованого шару, а також легує твердий розчин, підвищуючи його міцність.

Невисокий вміст вуглецю дозволяє отримати після повного циклу хіміко-термічної обробки структуру серцевини, що поєднує достатньо високу міцність і твердість із задовільною в'язкістю.

Також в складі обраних сталей присутні шкідливі та корисні домішки.

Сірка є шкідливою домішкою. Сірка та її сполуки при кімнатних і знижених температурах сприяють зниженню ударної в'язкості сталі; також із залізом вона утворює хімічну сполуку FeS , яка із залізом утворює легкоплавку евтектику (988°C), яка переважно розташовується по межах зерен. При нагріванні сталі до температури гарячої пластичної деформації ($1000\ldots1200^\circ\text{C}$) евтектика розплавлюється, порушується зв'язок між зернами металу, внаслідок чого при деформації сталі в місцях розташування евтектики виникають надриви та тріщини, тобто виникає явище червоноламкості.

Фосфор є також шкідливою домішкою. Фосфор, розчиняючись в гратці заліза, сильно викривлює його гратку, що призведе до окрихчування сталі; також

він підвищує поріг холодноламкості сталі та знижує роботу розповсюдження тріщини.

Кремній і марганець є корисними домішками, вони сприяють розкисленню сталі. Розчиняючись в гратці заліза, вони збільшують міцність сталі, але дещо знижують її пластичність. Марганець запобігає червоноламкості сталі [12].

1.4 Методи термічної обробки деталей машин

Термічною обробкою називають сукупність операцій нагрівання, витримки та охолодження металевих сплавів, що знаходяться в твердому стані, для зміни їх структури і отримання потрібних фізико-механічних властивостей.

Термічній обробці піддають деталі і інструменти для підвищення твердості, міцності і зносостійкості, а також заготовки (поковки, відливання і ін.) Для підготовки до механічної обробки [13].

1.4.1 Підготовка структури

Для зняття внутрішніх напружень, усунення структурної і хімічної неоднорідності, зниження твердості і поліпшення оброблюваності, підготовки до наступних операцій застосовується відпал. Він являє собою операцію термічної обробки, що полягає в нагріванні сталі, витримці при даній температурі і наступному повільному охолодженні разом з піччю або в піску зі швидкістю 2-3° в хвилину. В результаті відпалу утворюється стійка структура, вільна від залишкових напружень.

Відпал є однією з найважливіших масових операцій термічної обробки сталі.

Мета відпалу:

- 1) зниження твердості і підвищення пластичності для полегшення обробки металів різанням;
- 2) зменшення внутрішнього напруження, яке виникає після обробки тиском (кування, штампування), механічної обробки і т. д. ;
- 3) зняття крихкості і підвищення опору ударної в'язкості;
- 4) усунення структурної неоднорідності складу матеріалу, що виникає при твердінні виливка в результаті ліквідації;
- 5) зміна властивостей наклепаного металу.

Залежно від поставлених завдань відпал проводиться при різних температурах і буває двох видів: неповний і повний.

Температура відпалу, як правило, повинна бути на 20 - 30 °C вище критичної точки, при якій відбувається основна зміна внутрішньої будови сталі.

Швидкість нагріву деталі до температури відпалу залежить від хімічного складу, форми і розмірів деталі. При великих розмірах і складній формі деталі нагрів повинен бути повільним. Швидкість охолодження при відпалі повинна бути малою. Вуглецеві сталі охолоджуються при відпалі зі швидкістю 100 - 200 °C в годину, низьковуглецеві - зі швидкістю 50 - 60 °C в годину, високолеговані - ще повільніше. На практиці при відпалі деталі зазвичай охолоджуються разом з піччю до кімнатної температури.

При неповному відпалі, мета якого полягає тільки в усуненні внутрішніх напружень, сталь з будь-яким вмістом вуглецю нагрівають до 750 - 760 °C.

Для повного відпалу сталь з вмістом вуглецю понад 0,8% нагрівають також до 750 - 760 °C, а при меншому вмісті потрібно поступове підвищення температури відпалу до 930 - 950 °C. Деталі витримуються при зазначених температурах до повного нагріву. Час витримки залежить від форми деталей. Потім їх повільно охолоджують до кімнатної температури (20 °C). Якість відпалу визначають по виду зламу [14, 15].

1.4.2 Надання основних властивостей

Гартуванням називається операція термічної обробки, що складається з нагріву до температур вище верхньої критичної точки A_{c3} для доєвтектоїдної сталі і вище нижньої критичної точки A_{c1} для заєвтектоїдної сталі і витримки при даній температурі з наступним швидким охолодженням (в воді, маслі, водних розчинах солей та ін.).

Внаслідок гартування сталь отримує структуру мартенситу і завдяки чому підвищується твердість, міцність і зносостійкість сталі.

Режими гартування визначаються швидкістю і температурою нагрівання, тривалістю витримки при цій температурі і особливо швидкістю охолодження.

Температура нагріву сталі для гартування залежить в основному від хімічного складу сталі. При гартуванні доєвтектоїдних сталей нагрівання слід вести до температури на 30 - 50 °C вище точки A_{c3} . В цьому випадку сталь має структуру однорідного аустеніту, який при подальшому охолодженні зі швидкістю, що перевищує критичну швидкість гартування, перетворюється на мартенсит. Таке гартування називається повним. При нагріванні доєвтектоїдних сталей до температур A_{c1} - A_{c3} в структурі мартенситу зберігається деяка кількість фериту, що залишився після гартування, що знижує твердість загартованої сталі. Таке гартування називається неповним.

Для заєвтектоїдної сталі найкраща температура гартування - на 20 - 30 °C вище A_{c1} , т.т. неповне гартування. У цьому випадку збереження цементиту при нагріванні і охолодженні сприятиме підвищенню твердості, так як

твердість цементиту більше твердості мартенситу. Нагрівати заевтектоїдну сталь до температури вище A_{cm} не слід, так як твердість виходить меншою, ніж при загартуванні з температури вище A_{c1} , за рахунок розчинення цементиту і збільшення кількості залишкового аустеніту. Крім того, при охолодженні з більш високих температур можуть виникнути великі внутрішні напруження.

Для отримання структури мартенситу потрібно переохолодити аустеніт шляхом швидкого охолодження сталі, що знаходиться при температурі найменшій стійкості аустеніту, т.т. при 650 - 550 °C.

У зоні температур мартенситного перетворення, т.т., нижче 240 °C, навпаки, вигідніше застосовувати уповільнене охолодження, так як структурні напружки, що утворюються, встигають вирівнятися, а твердість мартенситу, що утворився, практично не знижується.

Правильний вибір гартівного середовища має велике значення для успішного проведення термічної обробки.

Найбільш поширені гартівні середовища - вода, 5 - 10% -ний водний розчин їдкого натру або кухонної солі і мінеральне масло. Для гартування вуглецевих сталей можна рекомендувати воду з температурою 18 °C; а для гартування більшості легованих сталей - масло.

Швидке охолодження сталевих деталей при гартуванні є причиною виникнення в них великих внутрішніх напружень. Ці напруження іноді призводять до викривлення деталей, а в найбільш важких випадках - до тріщин. Особливо великі і небезпечні внутрішні напруження виникають при охолодженні у воді. Тому там, де можна, слід охолоджувати деталі в маслі. Однак в більшості випадків для деталей з вуглецевої сталі це неможливо, так як швидкість охолодження в маслі значно менше критичної швидкості, необхідної для перетворення аустеніту в мартенсит. Отже, деталі з вуглецевих сталей рекомендується гартувати з охолодженням у воді, але при цьому зменшувати внутрішні напруження, що неминує при цьому виникають. Для цього користуються різними способами гартування, зокрема, гартуванням в двох середовищах, гартуванням з самовідпуском і т.д.

Відпуском називається операція термічної обробки, що полягає у нагріванні загартованої сталі до температури нижче критичної A_{c1} , витримці при цій температурі і наступному повільному або швидкому охолодженні. Ціль відпуску - усунути або зменшити напруги в сталі, підвищити в'язкість і знизити твердість.

Відпуск є заключною операцією термічної обробки, і правильне виконання його в значній мірі визначає якість готової загартованої деталі.

Залежно від температури нагрівання розрізняють низький, середній і високий відпуск.

Низький відпуск полягає у нагріванні до температури 150 - 250 °C, витримці при цій температурі і подальшим охолодженням на повітрі. При витримці під час відпуску в зазначеному інтервалі температур мартенсит гартування перетворюється у мартенсит відпуску, при цьому внутрішні напруження частково знімаються і залишковий аустеніт перетворюється в мартенсит відпуску.

В результаті низького відпуску сталь зберігає високу твердість, а іноді твердість підвищується за рахунок розпаду залишкового аустеніту; усувається гартівна крихкість. Такий відпуск застосовують для ріжучого інструменту і виробів, яким необхідна висока твердість. Перетворення мартенситу гартування в мартенсит відпуску сприяє стабілізації розмірів деталі, що необхідно для вимірювального інструмента, виготовленого з інструментальної сталі. Цей інструмент також піддають низькому відпуску.

Середній відпуск проводять при 300 - 500 °C. Твердість сталі помітно знижується, в'язкість збільшується. Середній відпуск застосовують для пружин, ресор, а також інструменту, який повинен мати значну міцність і пружність при середній твердості.

Високий відпуск проводять при 500 - 600 °C, його загальне призначення - отримати найбільшу в'язкість при достатніх границях міцності і пружності сталі. Застосовують цей вид відпуску для деталей з конструкційних сталей, що піддаються дії високих напружень, особливо при ударному навантаженні

Для деталей різних машин і верстатів зазвичай застосовують термічну обробку, яка полягає в гартуванні з подальшим високим відпуском при температурі, що забезпечує отримання сорбіту відпуску і гарного поєднання міцності і пластичних властивостей.

Нагрівання для відпуску можна виробляти в тих же печах, які застосовують для інших видів термічної обробки, але він вимагає більш рівномірної температури і більш точного контролю [16].

1.4.3 Методи підвищення твердості поверхневого шару деталей машин

Багато деталей машин працюють в умовах підвищеного зношення поверхні, тому є необхідність підвищення її зносостійкості. Це досягається методами поверхневого зміцнення.

Всі методи зміцнення поверхонь можна розбити на дві основні групи:

1) зміцнення виробів без зміни хімічного складу поверхні, але зі зміною структури. Наприклад, поверхневим гартуванням, поверхневим пластичним деформуванням і іншими методами;

2) зміцнення виробів зі зміною хімічного складу поверхневого шару і його структури. Це досягається за допомогою різних методів хіміко-термічної обробки та нанесенням захисних шарів.

Серед методів зміцнення без зміни хімічного складу поверхні, але зі зміною її структури, найбільш поширені способи поверхневого гартування і різні види поверхневого пластичного деформування (ППД).

Основне призначення ППД - підвищення втомної міцності шляхом наклепу поверхні на глибину 0,2 - 0,4 мм. Різновидами ППД є дробострумінне оброблення, обробка роликками, накатка рельєфу та ін [17].

Сутність поверхневого гартування полягає в тому, що поверхневі шари сталевих деталей швидко нагрівають вище температури гартування, а потім

охладжують зі швидкістю вище критичної. Основне призначення поверхневого гартування: підвищення твердості, зносостійкості і границі витривалості поверхні при збереженні в'язкої серцевини. Нагрівання може бути здійснено різними способами. У промисловості найпоширенішим способом поверхневого зміцнення є індукційне гартування з нагріванням струмами високої частоти.

До методів зміцнення зі зміною хімічного складу і структури поверхні відноситься хіміко-термічна обробка (ХТО). Вона полягає в насиченні поверхневого шару сталі різними елементами при високій температурі. Поширені види хіміко-термічної обробки сталей в залежності від насичуючих елементів: цементация, азотування, нітроцементация (ціанування) [18].

Найбільш широко використовується цементация - насичення поверхні сталі вуглецем. Цементация надає поверхні сталі високу твердість і зносостійкість при збереженні в'язкої і пластичної серцевини. Остаточні властивості цементовані вироби набувають після гартування і низького відпуску. Цементации зазвичай піддаються деталі, виготовлені зі сталей з вмістом вуглецю до 0,25 %, що працюють в умовах контактного зношення і додаткових знакозмінних навантажень: середньорозмірні зубчасті колеса, втулки, поршневі пальці, кулачки, вали коробок передач автомобілів, окремі деталі рульового управління і т.д.

Азотування являє собою процес насичення поверхневого шару сталі азотом і найчастіше проводиться при температурах 500 - 600 °С. Азотування, так само як і цементация, підвищує твердість і зносостійкість поверхні стали [19].

Нітроцементация - це процес одночасного насичення сталі вуглецем і азотом в середовищі, що складається з природного газу і аміаку. У порівнянні з цементацией, нітроцементацию проводять при більш низьких температурах - 850 -870 °С. Це обумовлено тим, що азот, проникаючи в сталь одночасно з вуглецем, знижує температуру існування твердого розчину на основі γ -Fe і тим самим сприяє науглецюванню сталі при більш низьких температурах. Азот,

виконуючи роль легуючого елемента, знижує критичні точки сталі. Зниження температури насичення без збільшення тривалості процесу дозволяє знизити деформацію оброблюваних деталей [20].

Нітроцементатії зазвичай піддають леговані сталі з вмістом вуглецю до 0,25 %. При цьому, тривалість процесу і товщина нітроцементованого шару менше, ніж при цементатії. Після нітроцементатії проводять гартування або безпосередньо з печі, з підстужування до 800 - 825 °С, або після повторного нагрівання; рідше застосовують ступінчасте гартування. Після гартування проводять відпуск при 160 - 180 ° С [21].

1.5 Мета та постановка завдання роботи

Розглянуто умови експлуатації, основні характеристики, та види термообробки деталей машин. Часто в процесі експлуатації, найрозповсюдженіші деталі машин, такі як вали та зубчасті колеса, піддаються зношенню. Найдоступнішим, на даний момент, методом підвищення поверхневої твердості таких деталей є хіміко-термічна обробка. В теперішній час, на підприємствах використовуються цементатія та нітроцементатія, які за сутністю є аналогами. При цьому, нітроцементатія має ряд суттєвих переваг, тому актуальним є провадження цього процесу замість цементатії.

Метою роботи є порівняльний аналіз та визначення впливу цементатії та нітроцементатії на структуру та властивості деталей машин з конструкційних сталей.

Згідно цьому задачами роботи є:

- дослідити сутність процесів, що відбуваються при хіміко-термічній обробці деталей;

- визначити властивості та дослідити мікроструктуру після різних режимів хіміко-термічної обробки;
- провести порівняльний аналіз та обрати ефективніший вид хіміко-термічної обробки;
- встановити доцільність використання обраного режиму ХТО та проаналізувати технології, що вже застосовуються на підприємствах.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали та технологія їх отримання

Для дослідження впливу цементації та нітроцементації на зносостійкість деталей було обрано конструкційну сталь 20 ГОСТ 2590-88. Хімічний склад сталі (масова частка елементів, %): С – 0,17...0,24; Si – 0,17...0,37; Mn – 0,35...0,65; Ni – до 0,25; S – до 0,04; P – до 0,04.

Для дослідження впливу цементації та нітроцементації на границю витривалості деталей було обрано конструкційну сталь 30ХГТ ГОСТ 4543 - 71. Хімічний склад сталі (масова частка елементів, %): С – 0,24...0,32; Si – 0,17...0,37; Mn – 0,8...1,1; Ni – до 0,3; Cr – 1...1,3; S – до 0,035; P – до 0,035.

Виплавлення сталей виконували в 50-кг відкритій індукційній печі. Розкислення проводили кремнієм та марганцем. Температура розливання знаходилась в межах 1520 – 1560 °С.

2.2 Дослідження механічних властивостей

Поверхневу твердість і розподіл твердості в дифузійному шарі визначали методом Віккерса при навантаженні 100 г.

Метод визначення твердості за Віккерсом заснований на дослідженні залежності глибини проникнення алмазного конуса (індентора) в

досліджуваний матеріал від величини зусилля. Після зняття зусилля на поверхні зразка залишається відбиток, відповідний глибині занурення індентора. З огляду на те, що геометричні розміри індентора відомі і строго регламентовані, замість глибини занурення визначають площину відбитка в поверхневому шарі матеріалу, що випробується.

В якості випробувального конуса використовується пірамідка з алмазу, який має максимальну відому твердість.

Індентор виконаний у вигляді чотирикутної піраміди з кутами між гранями 136° (рис. 2.1). Такий кут обраний для того, щоб зблизити значення методу Віккерса з методом Бріннеля. Таким чином, значення твердості в межах 400 - 450 одиниць практично збігаються, особливо, в області менших значень.

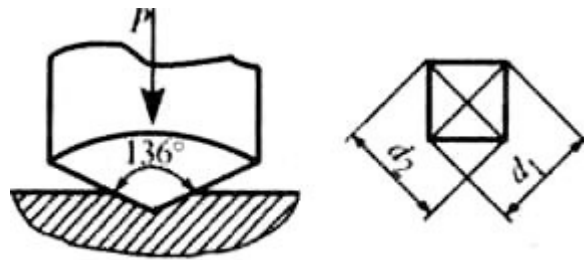


Рисунок 2.1 – Вид індентора при випробуваннях твердості за методом Віккерса

Твердість за Віккерсом визначають шляхом вдавнення піраміди в зразок, що випробується під дією сили певної величини. Знаючи прикладену силу і площу відбитка можна визначити твердість поверхні матеріалу, що випробується.

Замість розрахунку площі відбитка використовуються значення вимірних діагоналей ромба, між якими знаходиться пряма залежність.

Підсумковий результат твердості визначають за формулою:

$$HV = 1.854 \cdot F/d^2, \quad (2.1)$$

де F – це значення сили;

d – діагональ ромбу.

При дослідженні зносостійкості використовували трьохвалковий метод згідно польському нормативу PN-83/H-04302 на установці "INSTRON" 2801. Випробування проводили в умовах тертя-ковзання при навантаженнях 50, 100, 200 і 400 МПа. В якості мастила використовували масло LUX-10, швидкість подачі якого становила 30 крапель в хвилину. На підставі отриманих результатів побудовані графіки Лоренца. На рис. 2.2 показаний вид зразків для випробувань на зносостійкість.



Рисунок 2.2 – Вид зразків для випробувань на зносостійкість

Перед випробуваннями зразки піддавались наступним режимам ХТО: Нітроцементация 820 °С, 2 год та 870 °С, 4 год (зразки № 1Н та 2Н); Цементация 900 °С, 2 год та 930 °С, 4 год (зразки № 1Ц та 2Ц).

Для визначення границі витривалості використовували неруйнівний прискорений метод випробувань, заснований на вимірюванні магнітних характеристик сталі, що піддається знакозмінним навантаженням. Для випробувань на втому використовувалися зразки у вигляді стрижнів

діаметром 8 мм і довжиною 180 мм. У середній частині зразка на довжині 50 мм бесцентровим шліфуванням вибирався профіль до діаметра $5 \pm 0,02$ мм. Тонка частина зразка полірувалась.

Зразки випробовувалися на чистий згин з обертанням частотою 50 Гц (300 цикл/хв). Неруйнівний метод дає можливість випробувати один і той же зразок до і після зміцнюючої обробки, що значно підвищує достовірність результатів випробувань, так як дозволяє виключити вплив усіх випадкових чинників (неодноразовості хімічного складу, дефектів, структури, внутрішньої напруги та ін.), що мають місце при випробуванні різних зразків до руйнування.

При випробуванні вимірювали границю витривалості сталі на підготовлених зразках в нормалізованому стані, після чого проводили обробку, яка полягає в нітроцементзації з наступним гартуванням (високотемпературний варіант) або після гартування з подальшою нітроцементациєю (низькотемпературний варіант). Після висушування зразки з нітроцементованим покриттям упаковували в герметичний контейнер разом з наповнювачем у вигляді чавунної стружки і поміщали в піч, розігріту до заданої температури. Після нітроцементзації знову визначали границю витривалості зразків названим вище методом.

Зразки для випробувань на витривалість піддавались хіміко-термічній обробці за визначеними режимами (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Режими хіміко-термічної обробки зразків

Варіант	Режим ХТО
1	Цементация (950 °C, 4 год) + гартування (860 °C в маслі) + відпуск (150 °C, 2 год)
2	Нітроцементация (900 °C, 3 год) + гартування (860 °C в маслі) + відпуск (150 °C, 2 год)

3	Гартування (880 °C в маслі) + нітроцементация (600 °C, 3 год)
---	---

Насичуюча атмосфера складається з суміші природного газу та ендогазу. склад ендогазу: 18 – 20 % CO; 38 – 40 % H₂; ≤ 0,2 % CO₂; ≤ 1,0 % CH₄. Природний газ додають в кількості 2-5% від витрати ендогазу. До складу атмосфери для нітроцементации додатково входить 6% аміаку.

2.3 Мікроскопічні дослідження

Металографічні дослідження проводили при використанні оптичного мікроскопа KERN OKO-1. EDS-аналіз за допомогою енерго-дисперсійного рентгенівського спектрометра EDS фірми ThermoNoran, використовували для визначення хімічного складу поверхні дифузійних шарів, отриманих на зразках за допомогою характеристичного рентгенівського випромінювання атомів. Мікроструктури записували в цифровому вигляді з використанням фотокамери AxioCam MRc5. Дослідження проводили на зразках у формі куба зі стороною 15 - 20 мм.

Аналіз мікроструктури і вимірювання товщини отриманих дифузійних шарів виконували на металографічному мікроскопі на поперечних шліфах. Вирізані зразки заливали акрилової смолою (DuracrylPlus), а потім шліфували на шліфувальному папері зі зменшенням розміру зерна. Шліфовані поверхні полірували з використанням алмазної пасти. Приготовлені шліфи піддавали хімічному травленню трипроцентним розчином HNO₃ у C₂H₅OH.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО РЕЖИМУ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

3.1 Аналіз технологічного процесу цементації

Цементації зазвичай піддають такі деталі машин, які повинні мати високу зносостійкість робочих поверхонь і в'язку серцевину, наприклад, вали, осі, зубчасті колеса, деталі кулачкових механізмів та інші.

3.1.1 Структурні перетворення при цементації

При цементації відбувається, поверхнєве насичення сталі вуглецем, в результаті чого утворюється високовуглецевий поверхневий шар.

Проникнення вуглецю в сталь можливо тільки в тому випадку, якщо вуглець знаходиться в атомарному стані. Атомарний вуглець абсорбується поверхнею сталі, і дифундує в глибину металу.

Тому цементація, як і будь-яка ХТО, включає три послідовні стадії:

1. Дисоціація - розпад молекул з утворенням активних атомів елемента, який насичує. Процес йде в газовому середовищі поблизу поверхні або безпосередньо на поверхні металу.

2. Абсорбція - поглинання поверхнею металу вільних атомів і розчинення їх в металі. Процес відбувається на межі газ-метал і відбувається

тільки за умови можливості розчинення дифундуючого елемента в основному металі.

3. Дифузія - проникнення елемента, який насичує в глибину металу. Процес відбувається при досить високій температурі, що забезпечує необхідну енергію атомам.

В результаті дифузії на поверхні металу утворюється максимальна концентрація дифундуючого елемента, яка знижується в міру віддалення від поверхні (рис. 3.1).

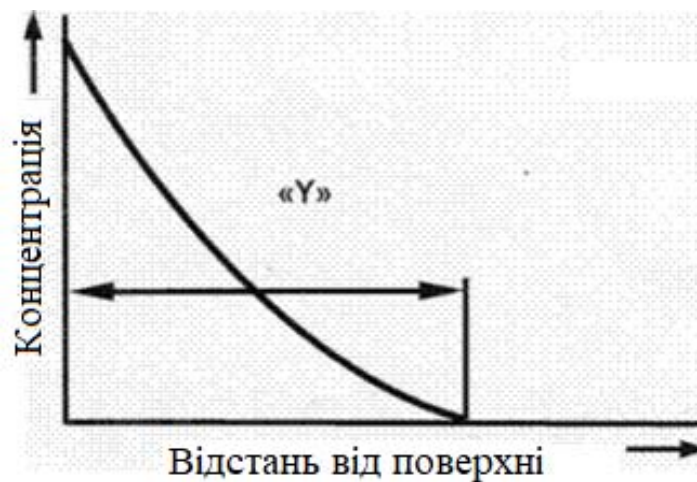


Рисунок 3.1 - Зміна концентрації дифундуючого елемента в залежності від відстані від поверхні

Глибина дифузійного шару характеризується величиною «Y», яка прямо пропорційно залежить від температури і часу процесу, концентрації дифундуючого елемента на поверхні.

У процесі цементації змінюється структура сталі в поверхневому шарі, і після повільного охолодження в структурі цементованого шару розрізняють три зони: на поверхні - заевтектоїдна (1), що складається з перліту і вторинного цементиту, розташованого у вигляді сітки по межах колишніх зерен аустеніту; евтектоїдна (2), що складається з однорідного пластинчастого перліту і доевтектоїдна (3) - ферритно-перлітна. У міру віддалення від поверхні до серцевини виробу, кількість перліту зменшується,

фериту

збільшується

(рис 3.1).

Глибина цементованого шару приймається як сума заевтектоїдної і $1/2$ доевтектоїдної зон (до змісту 0,4 - 0,5% C).

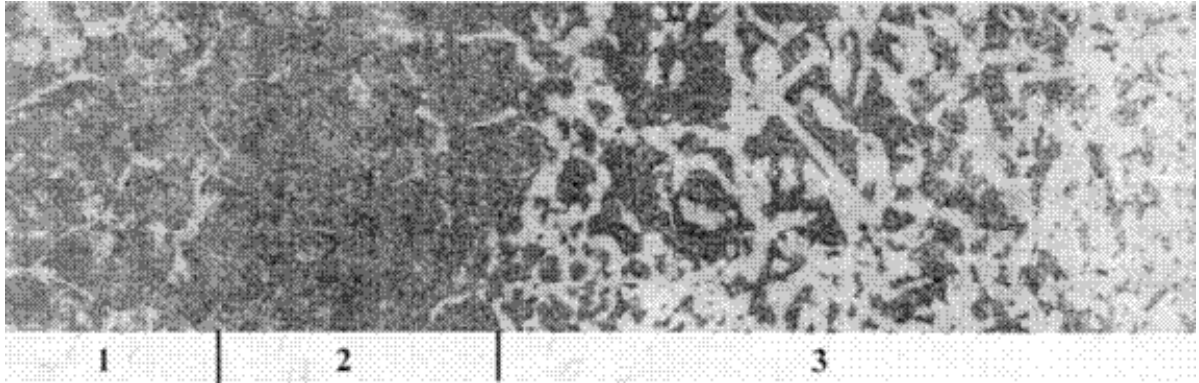


Рисунок 3.1 – Макроструктура цементованого шару на сталі

3.2 Аналіз технологічного процесу нітроцементатії

Основна область застосування нітроцементатії сталі – машинобудування і автомобільна промисловість. Даний процес зміцнення сталі є основним в технології виробництва зубчастих коліс будь-якого призначення, валів, а також деяких категорій інструменту зі швидкорізальної сталі.

3.2.1 Структурні зміни в металі при нітроцементатії

При впровадженні атомів азоту і вуглецю в поверхневий шар металу відбуваються деякі зміни. При нітроцементатії змінюється співвідношення залишкової кількості аустеніту і дрібнокристалічного мартенситу в

поверхневому шарі, додається невелика кількість карбонітридів, що впливає на механічні властивості - твердість і зносостійкість.

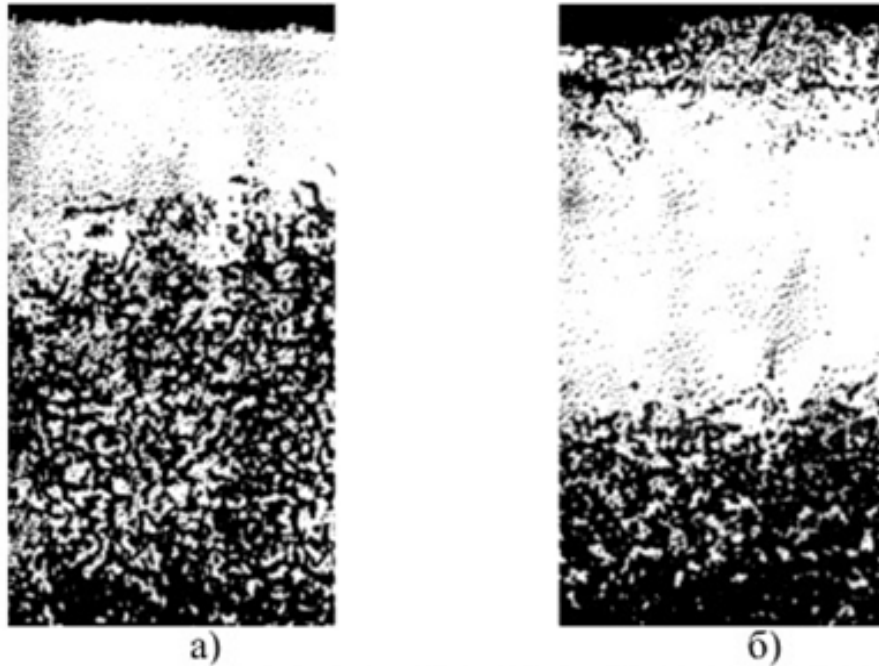
Така особливість структури нітроцементованого шару, як підвищення кількості аустеніту, покращує припрацьовуваність сталі, що важливо при роботі зубчастих передач, оскільки знижується гучність роботи механізмів, проте в той же час дещо підвищується крихкість і знижуються втомна і контактна міцність. Особливо, ця якість проявляється в легованій сталі з вмістом нікелю понад 1,2%. Таким чином, не всі марки сталі допустимо обробляти за даною методикою. Зменшення розмірів зерен структури досягається шляхом додаткового гартування і відпуску безпосередньо після процесу нітроцементзації. Оброблена таким чином сталь має менший розмір зерен, ніж цементована, що підвищує її міцність на згин при одночасному зменшенні товщини обробленого шару. Після закінчення процесу обробки вміст азоту в шарі доходить до 0,4%, а вуглецю до 0,9%.

Нітроцементация істотно змінює характеристики тонкого зовнішнього шару металу, його твердість і зносостійкість. Після додаткової термічної обробки - гартування, твердість поверхневого шару становить 58 - 62 HRC або 500 - 1000 HV.

3.2.2 Переваги і недоліки нітроцементзації

Серед переваг нітроцементзації можна відзначити високу технологічність процесу, простоту і зручність регулювання параметрів. Підбираючи температурний режим, склад газової суміші і, особливо, час обробки, можна легко регулювати товщину шару, який насичується в залежності від необхідних вимог (рис. 3.2). Низька температура обробки знижує ризик деформації виробу і спрощує подальше гартування, оскільки необхідний лише мінімальний час для зниження температури заготовки.

Таким чином зменшується час технологічного циклу виробництва продукції. Оброблені вироби мають високу якість поверхні і відмінні фізико-механічні властивості. У низьколегованих сталях після обробки спостерігається підвищення корозійної стійкості.



а) температура нітроцементзації 550 °С; б) температура нітроцементзації 650 °С

Рисунок 3.2 – Мікроструктури нітроцементовних слоїв покриття, наплавленого дротом Св-08Г2С (х300). Тривалість нітроцементзації – 3 години

Всі види нітроцементзації за рахунок прискорення насичення сталі вуглецем в порівнянні з цементациєю дають перевагу в часі обробки до 50-60%. Таким чином, основні переваги нітроцементзації полягають в скороченні часу виробництва з мінімальним ризиком негативного впливу на геометрію деталей. Одночасно підвищуються експлуатаційні якості завдяки присутності азоту.

Склад газової суміші досить просто регулювати як до, так і в процесі обробки. Значно скорочується час нагрівання складових процесу, так як газ, що подається в камеру, може вже мати необхідну температуру.

Серед безлічі корисних властивостей не можна забувати, що подібна методика обробки металу має і недоліки. Самий істотний недолік такого різновиду нітроцементациї, як ціанування - висока токсичність компонентів виробництва. Для насичення азотом і вуглецем використовуються ціаністі солі натрію і кальцію, які є вкрай токсичними речовинами.

Менш суттєвий недолік - дещо підвищена крихкість металу після обробки. Але оскільки зміни зачіпають тільки порівняно тонкий шар, дана характеристика є несуттєвою і нівелюється підвищеним опором матеріалу до зносу.

При виробництві деталей, які потребують ціанування і подальшого гартування необхідно строго дотримуватися послідовності і часу виконання частин технологічного процесу. Так гартування повинне виконуватися відразу ж після закінчення процесу насичення, оскільки повторне нагрівання заготовки призведе до відтоку молекул азоту від обробленої поверхні. Зменшення концентрації азоту може становити до 60%.

3.3. Порівняльний аналіз властивостей конструкційних сталей після різних варіантів ХТО

Як хіміко-термообробка шестерень розглядаються цементация і нітроцементация. Порівняння проводиться за наступними критеріями:

1. Температура і тривалість процесу
2. Твердість, зносостійкість поверхневого шару
3. Втома, міцність

3.3.1 Температура і тривалість процесу

Оптимальні температури для процесу цементації становлять 930 - 950 °С в залежності від сталі, яка застосовується. При таких температурах спостерігається максимальна швидкість насичення вуглецем при мінімальному збільшенні розміру зерна. Коефіцієнт дифузії D підвищується зі збільшенням температури обробки, що збільшує швидкість утворення шару, однак, у разі застосування спадково недрібнозернистих сталей, температура цементації вище 950 °С не рекомендується у зв'язку зі збільшенням розміру зерна аустеніту. Таким чином, глибина шару при цементації залежить як від температури цементації, так і від тривалості витримки (рис. 3.3).

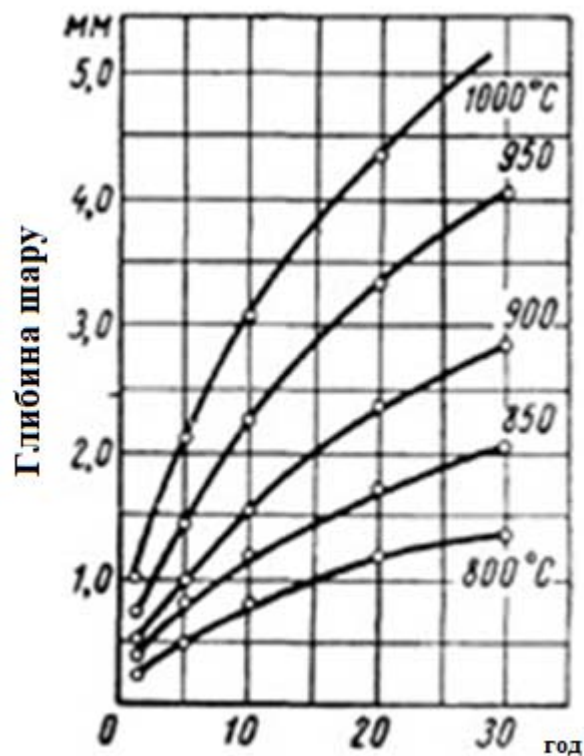


Рисунок 3.3 - Вплив температури і витримки на глибину шару при цементації

Легування аустеніту азотом знижує температуру $\alpha\text{-}\gamma$ перетворення, що дозволяє знизити температуру проведення процесу насичення. Азот також підвищує дифузійну рухливість вуглецю в аустеніті (табл. 3.1). З підвищенням температури ефект прискорення зменшується.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти дифузії C та N при нітроцементатії

Температура, °C	Нітроцементатія		Цементатія	
	$D_N \cdot 10^{-11}$, м ² /с	$D_C \cdot 10^{-11}$, м ² /с	$D_C \cdot 10^{-11}$, м ² /с	D_C нітроцементатія / D_C цементатія
850	0,3	0,38	0,17	2,24
900	0,6	0,75	0,38	1,97
950	1,08	1,17	0,87	1,38

Незважаючи на зниження температури процесу, швидкість росту дифузійного шару при цементатії (930 - 950 °C) і нітроцементатії (830 - 870 °C) на товщину 0,5 - 0,8 мм практично однакова. Виходячи з цього, нітроцементатію зазвичай проводять при температурах 830 - 870 °C.

При однакових температурах, швидкість нітроцементатії може перевищувати швидкість цементатії в 2 рази (при 930 °C: 0,15 - 0,2 мм/год для цементатії і 0,25 - 0,3 мм/год для нітроцементатії).

Зниження температури насичення при такій же тривалості процесу, дозволяє знизити деформацію оброблюваних деталей, підвищити стійкість пічного обладнання, зменшити величину зерна аустеніту і, в ряді випадків, виключити повторне гартування для виправлення структури.

3.3.2 Твердість і зносостійкість поверхневого шару

Властивості поверхневого шару вивчалися на прикладі низьковуглецевої сталі 20.

Мікроструктура сталі 20 після нітроцементації при температурі 820 °С протягом 2 годин (зразок 1Н) показана на рис. 3.4. На мікроструктурі можна розрізнити дуже тонку (кілька мікрометрів) карбонітридну зону, а під нею дифузійний шар товщиною близько 200 мкм.

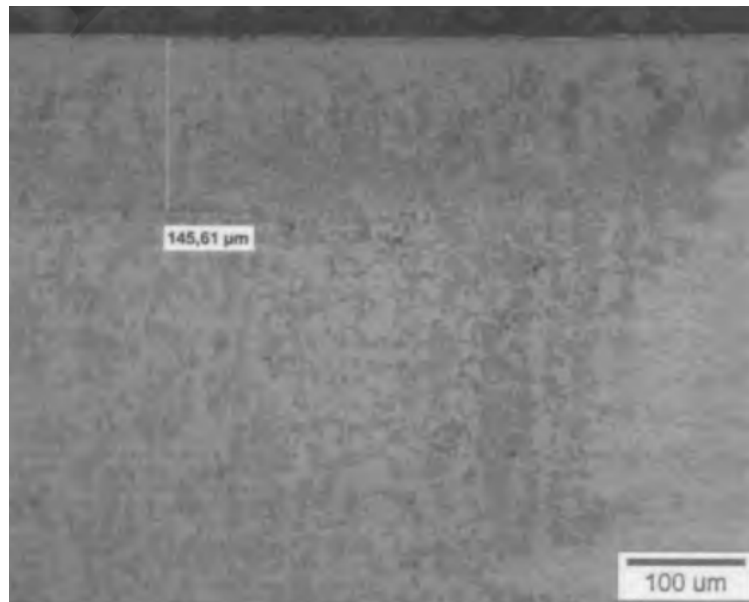


Рисунок 3.4 - Мікроструктура дифузійного шару зразка 1Н

Падіння мікротвердості (рис. 3.5) по дифузійному шарі відбувається плавно і на відстані 200 мкм становить 250 HV_{0,1}.

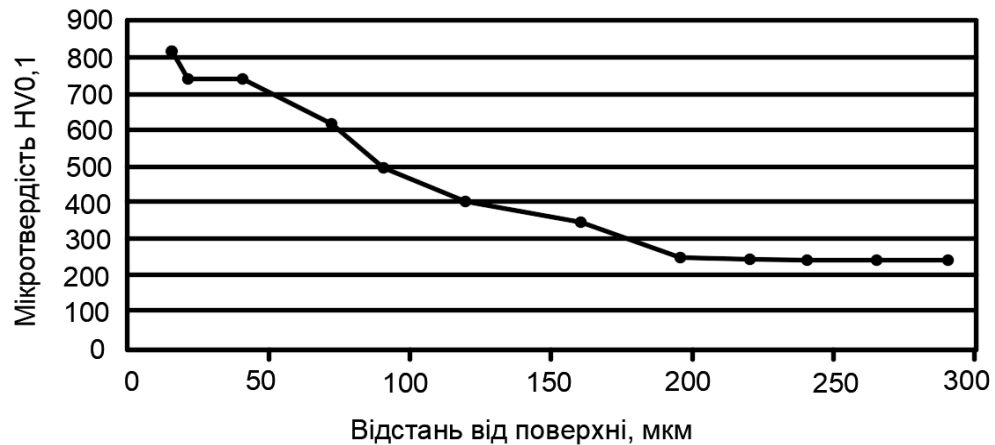


Рисунок 3.5 - Розподіл мікротвердості по товщині дифузійного шару зразка 1Н

Мікроструктура сталі 20 після нітроцементації при температурі 870 °С протягом 4 годин показана на рис. 3.6: поверхнева карбонітридна зона тонка (кілька мікрометрів), під нею дифузійна зона товщиною близько 200 мкм, а потім перехідна зона товщиною близько 0,5 мм.

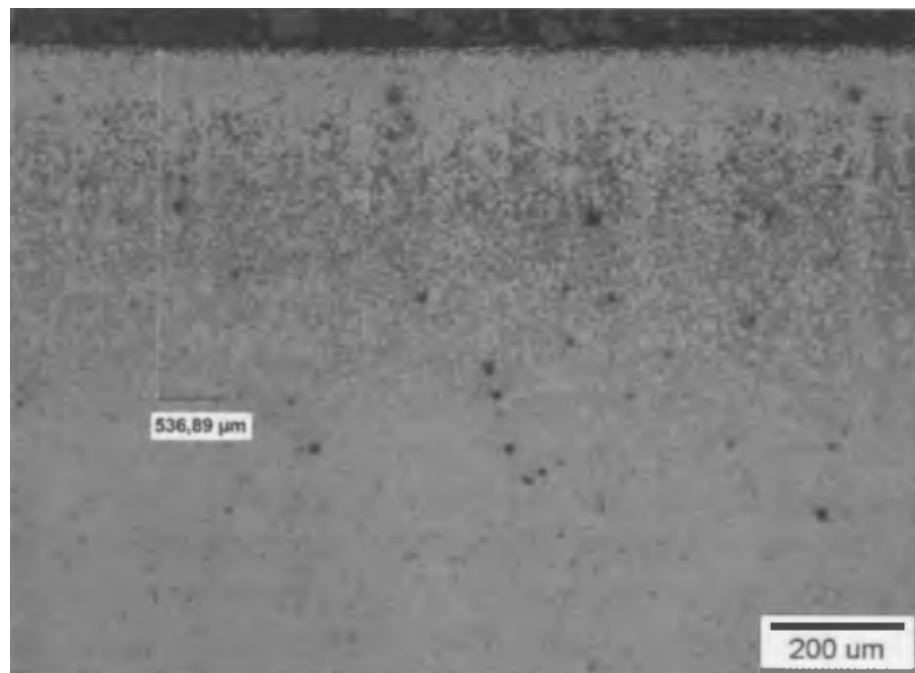


Рисунок 3.6 - Мікроструктура дифузійного шару зразка 2Н

Як видно з наведених даних, збільшення температури і часу здійснення процесу нітроцементації сталі 20 (схема проведення процесу

залишається однією і тією ж) призводить до значного ($\sim 2,5$ рази) зростання дифузійного шару.

Незначне падіння мікротвердості по дифузійному шару відбувається поступово і навіть на глибині 200 - 300 мкм мікротвердість складає ~ 600 HV0,1 (рис. 3.7). Фазовий склад шару змін не зазнає.

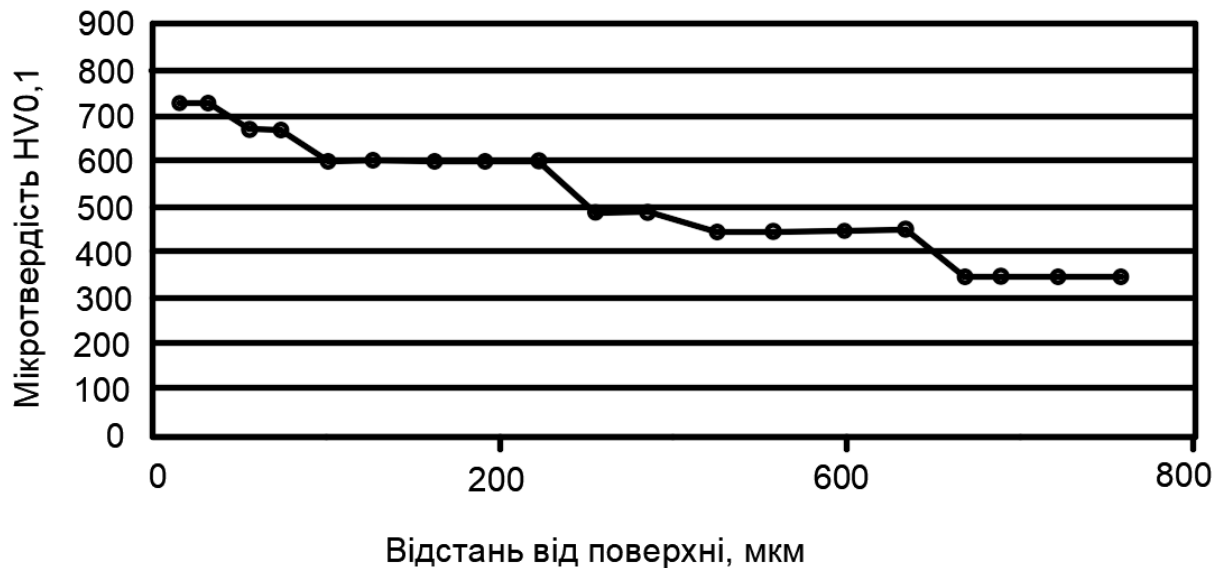


Рисунок 3.7 - Розподіл мікротвердості по товщині дифузійного шару

2Н

Мікроструктура зразків зі сталі 20, цементованої при температурі 900 °С протягом 2 годин, як і після нітроцементациї, має поверхневу зону - зону карбідів з товщиною кілька мікрометрів і під нею перехідну зону з товщиною близько 300 мкм (рис. 3.8).

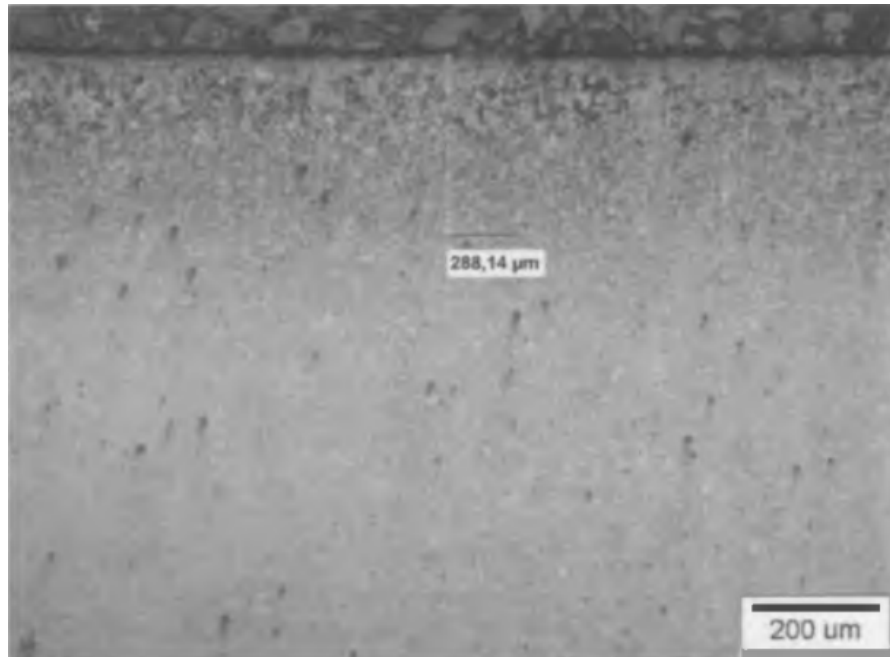


Рисунок 3.8 - Мікроструктура дифузійного шару зразка 1Ц

Зміна мікротвердості по товщині шару представлено на рис. 3.9. Як видно з графіка, мікротвердість плавно падає по товщині шару до 600 мкм, потім залишається постійною і рівною $\sim 300 \text{ HV}_{0,1}$.

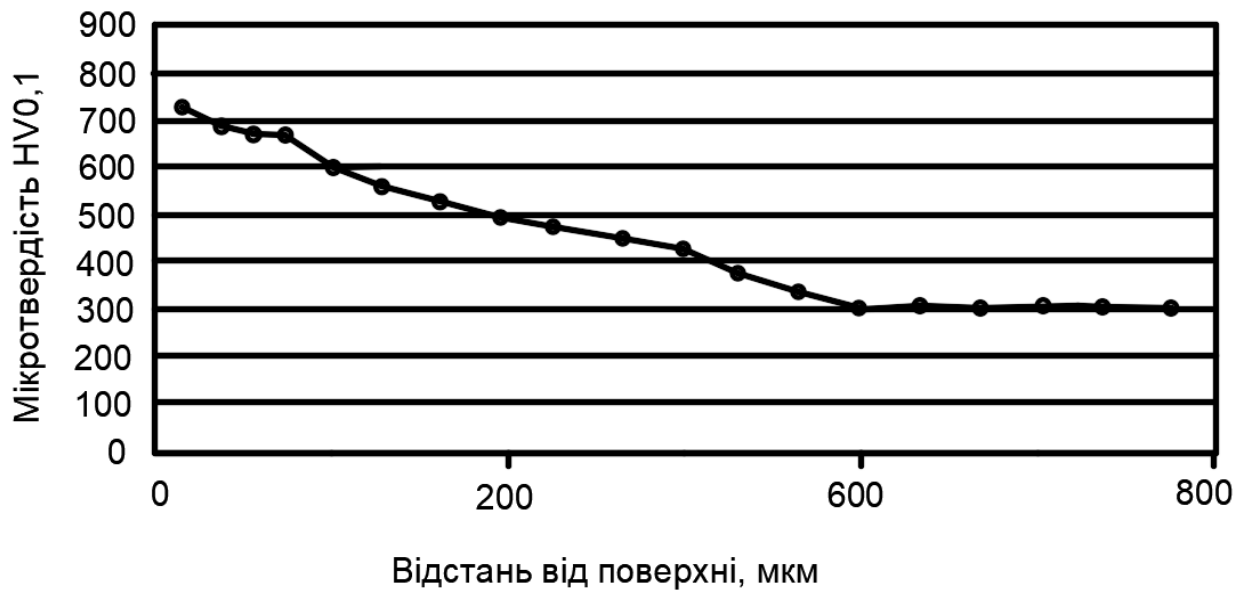


Рисунок 3.9 - Розподіл мікротвердості по товщині дифузійного шару

Мікроструктура сталі 20, цементованої при температурі 930 °С протягом 4 годин, показана на рис. 3.10. На поверхні зразка можна розрізнити тонку поверхневу зону карбідів (кілька мікрометрів), під нею дифузійна цементована зона з товщиною близько 200 мкм і далі перехідна зона - близько 0,5 мм. Структура отриманого шару аналогічна структурі шару, отриманого при здійсненні процесу нітроцементатації сталі 20 при температурі 870 °С протягом 4 годин (зразок 2Н).

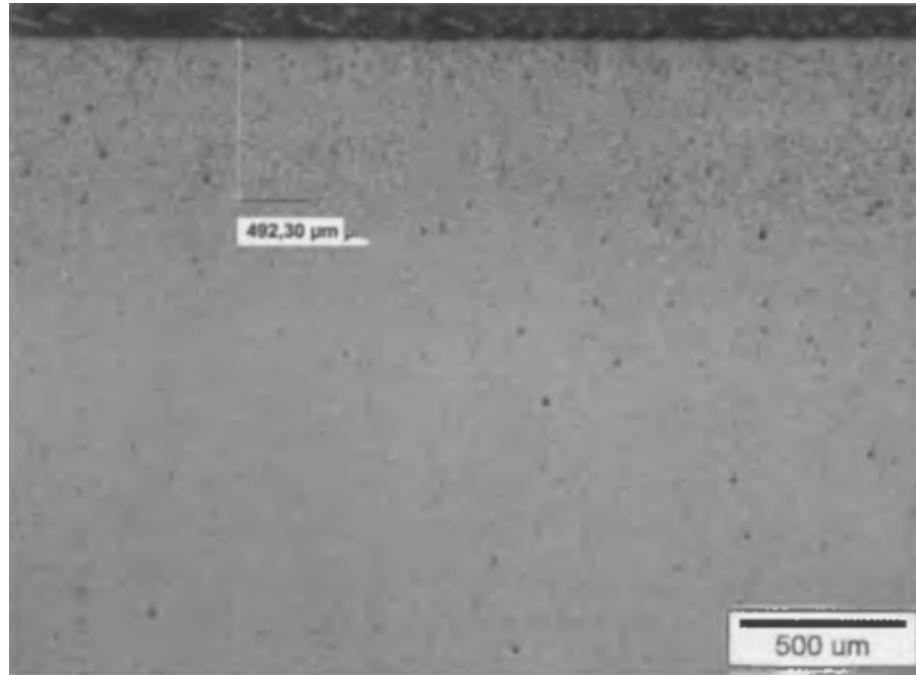


Рисунок 3.10 - Мікроструктура дифузійного шару зразка 2Ц

Крива розподілу мікротвердості по товщині дифузійного шару представлена на рис. 3.11.

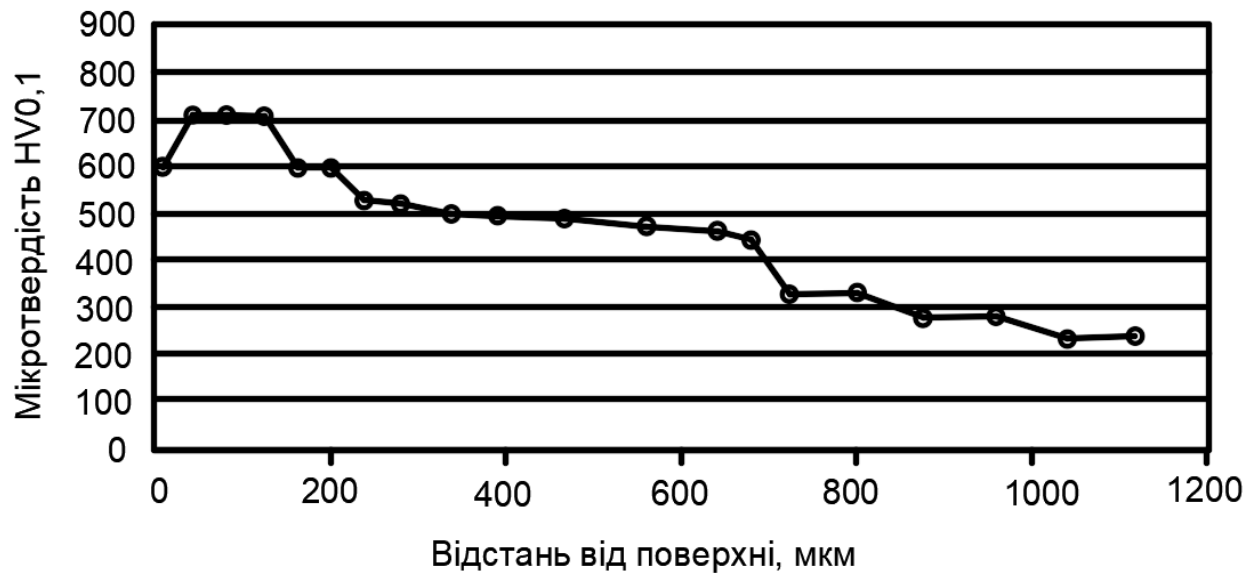
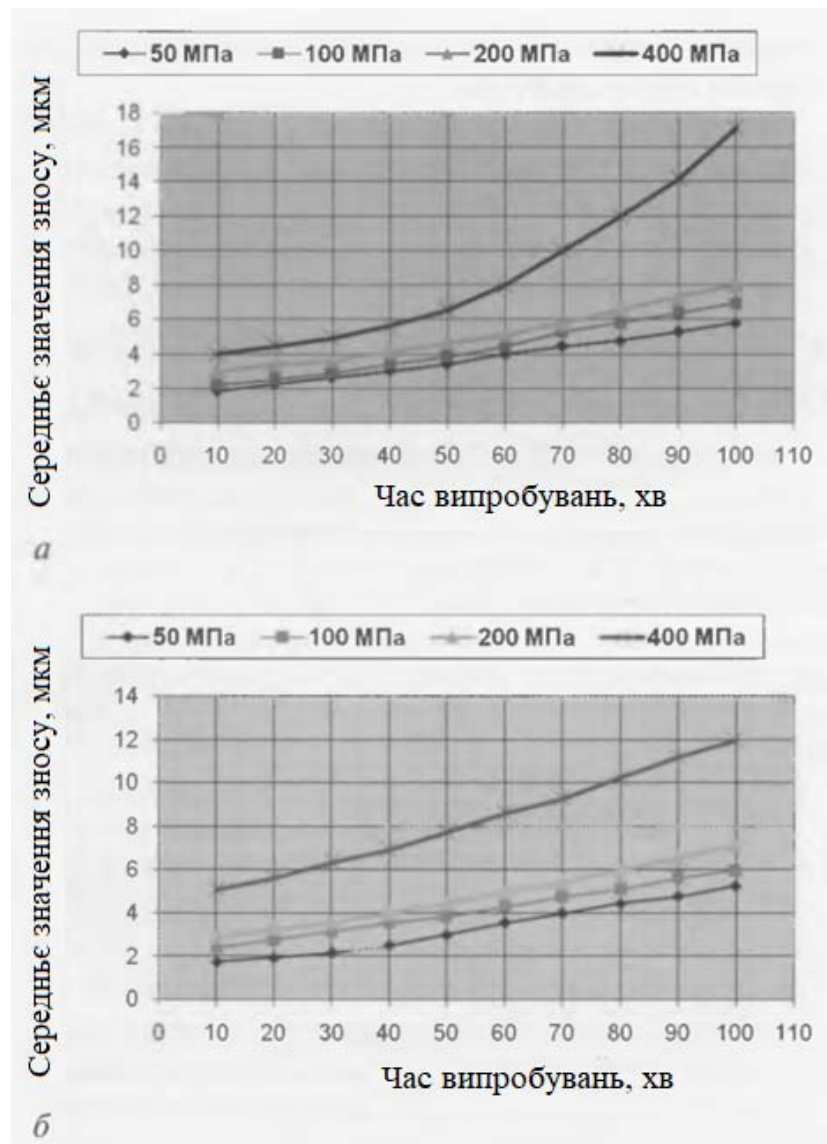


Рисунок 3.11 - Розподіл мікротвердості по товщині дифузійного шару 2Ц

Як видно з наведених даних, збільшення температури насичення призводить до збільшення поверхневої твердості. Характер розподілу мікротвердості по товщині дифузійного шару аналогічний всім раніше наведеними даними, при цьому зниження мікротвердості по товщині шару носить ступінчастий характер, що говорить про існування різних за структурою зон шару.

Результати випробувань на знос тривалковим методом нітроцементованих зразків наведені на рис. 3.12.



а - температура насичення - 820 °С, час - 2 год; б - температура насичення - 870 °С, час - 4 год

Рисунок 3.12 - Зносостійкість нітроцементованої сталі 20

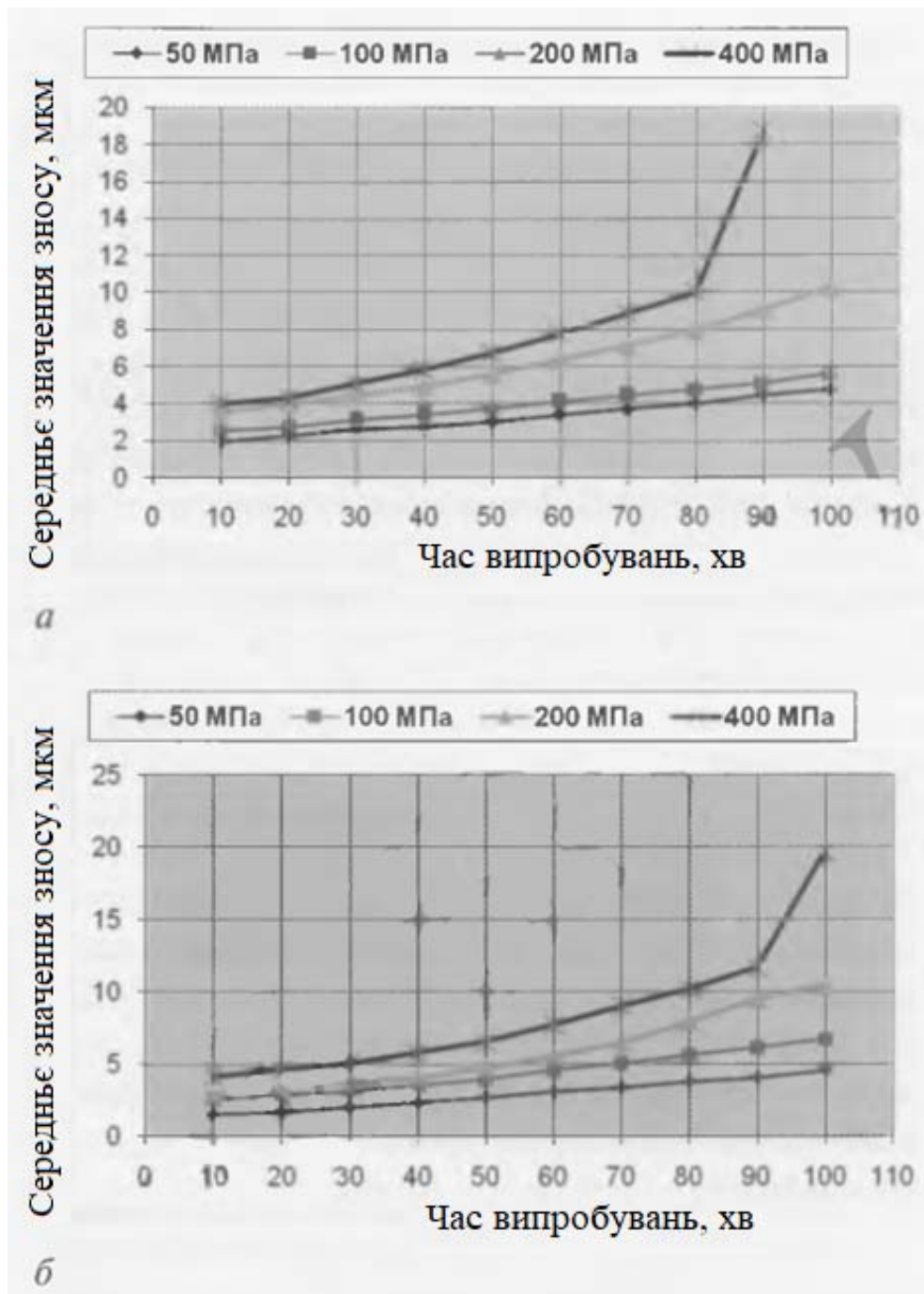
Як видно з малюнків, при випробуваннях з доданим навантаженням 50, 100 і 200 МПа протягом заданого часу випробувань (100 хв) всі зразки поступово зношуються. При цьому більш низькі кількісні показники зносу зафіксовані у зразків, нітроцементованих при температурі 870 °С протягом 4 год.

Підвищення питомого навантаження до 400 МПа призвело до збільшення швидкості зношування всіх нітроцементованих зразків. За 100 хв випробувань знос зразків сталі 20, нітроцементованих при температурі 870

°C протягом 4 год, склав 12 мкм, а зразків, нітроцементованих при температурі 820 °C протягом 2 год - 17 мкм.

Таким чином, при всіх досліджуваних навантаженнях зразки, нітроцементовані при температурі 870 °C і часі витримки 4 год, показали більш низькі чисельні значення зносу, в порівнянні із зразками, нітроцементованими при температурі 820 °C і часі витримки 2 год. Збільшення питомого навантаження призводить до збільшення швидкості зношування нітроцементованих зразків незалежно від температурно-часових умов їх обробки.

Результати випробувань на знос цементованої сталі 20 наведені на рис. 3.13, з яких випливає, що збільшення температури і часу проведення процесу цементації зразків істотно не впливає на швидкість зношування і кількісні показники зносостійкості при навантаженнях 50, 100 і 200 МПа.



а - температура насичення - 900 °С, час - 2 год; б - температура насичення - 930 °С, час - 4 год

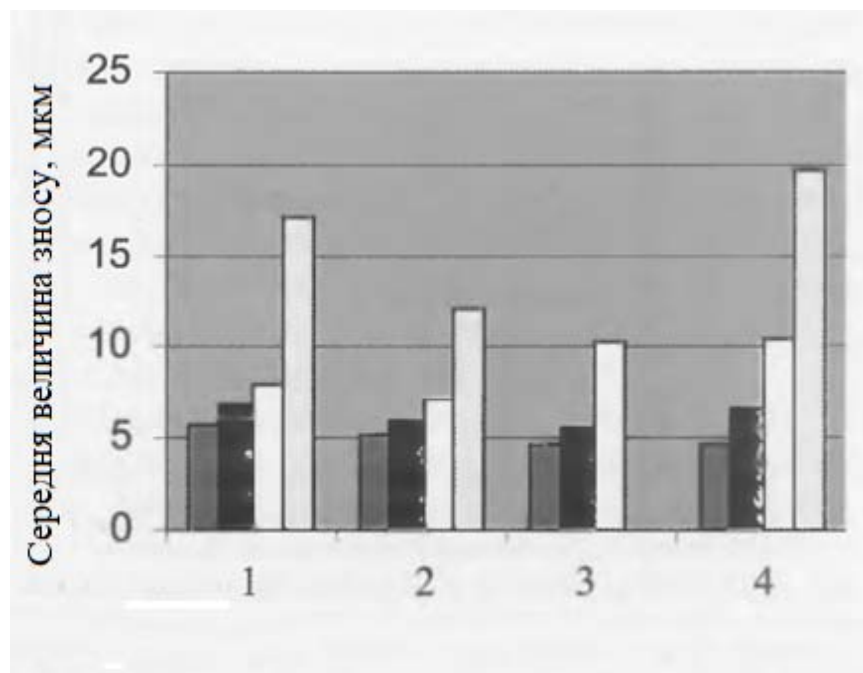
Рисунок 3.13 - Зносостійкість цементованої сталі 20:

При навантаженні 400 МПа швидкість зношування зразків збільшується незалежно від температурно-часових умов проведення процесу цементації. Однак різке падіння зносостійкості при навантаженні 400 МПа спостерігається при температурі цементації (900 °С, 2 год) через 80 хв

проведення випробувань, а при більш високій температурі (930 °С, 4 год) - через 90 хв випробувань. Таким чином, збільшення товщини цементованого шару при збільшенні температури до 930 °С і часу проведення процесу цементації до 4 годин в деякій мірі гальмує початок інтенсивного руйнування зразків при високому навантаженні.

На рис 3.14. представлені гістограми результатів порівняльних випробувань на знос зразків зі сталі 20 для цементації і нітроцементації, з урахуванням доданого навантаження за час випробувань - 100 хв. З отриманих даних видно, що вид хіміко-термічної обробки істотно впливає на зносостійкість, сталі 20.

Так, при навантаженнях 200 і 400 МПа найвищий опір зносу, як видно з гістограми (рис. 3.14), спостерігається у нітроцементованій сталі 20.



1 - сталь 20 нітроцементация (T = 820 °С, t = 2 год);

2 - сталь 20 нітроцементация (T = 870°С, t = 4 год);

3 - сталь 20 цементация (T = 900 °С, t = 2 год);

4 - сталь 20 цементация (T = 930 °С, t = 4 год)

Рисунок 3.14 - Зносостійкість зразків зі сталі 20, що пройшли термодифузійну обробку

3.3.3 Втомна міцність

Результати випробувань на втому (середні по трьом зразкам) наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Втомні характеристики сталі 30ХГТ до і після зміцнюючої обробки за різними варіантами

Варіант	Режим обробки	Границя витривалості σ_{-1} , МПа	
		до обробки	після обробки
1	Цементация (950 °С, 4 год) + гартування (860 °С в маслі) + відпуск (150 °С, 2 год)	318	400
2	Нітроцементация (900 °С, 3 год) + гартування (860 °С в маслі) + відпуск (150 °С, 2 год)	320	310
3	Гартування (880 °С в маслі) + нітроцементация (600 °С, 3 год)	322	460

Результати випробувань підтверджують літературні дані про вплив режимів високотемпературної цементації на границю витривалості сталі 30ХГТ. Цементация забезпечила зростання границі витривалості до 400 МПа, що пов'язано з утворенням в поверхневому шарі деталей напружень стиснення, а також високу твердість самого шару. Такий шар має високу границю текучості, що, в свою чергу, забезпечує підвищення границі витривалості.

Вплив високотемпературної нітроцементації виявився протилежним. Незважаючи на те, що карбонітридний шар також має високу твердість і

створює напруження стиснення, зниження границі витривалості сталі 30ХГТ склало 10 МПа.

Зниження границі витривалості, ймовірно, пов'язано з підвищеною кількістю залишкового аустеніту, що утворюється після нітроцементації. У сталі 30ХГТ його кількість може досягати 30 - 40%. Також, наявність на поверхні твердої і крихкої кабонітрідної кірки (рис. 3.15) негативно позначається на втомній міцності, так як в ній полегшено зародження втомних тріщин.

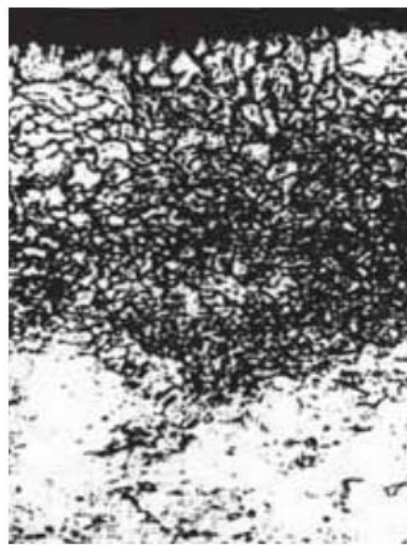


Рисунок 3.15 - Мікроструктура нітроцементованого шару сталі 30ХГТ

Результати випробувань для низькотемпературної нітроцементації більш цікаві. Проведена після гартування, яка в деякому сенсі замінює високий відпуск, нітроцементация, привела до помітного підвищення границі витривалості сталі 30ХГТ до 460 МПа.

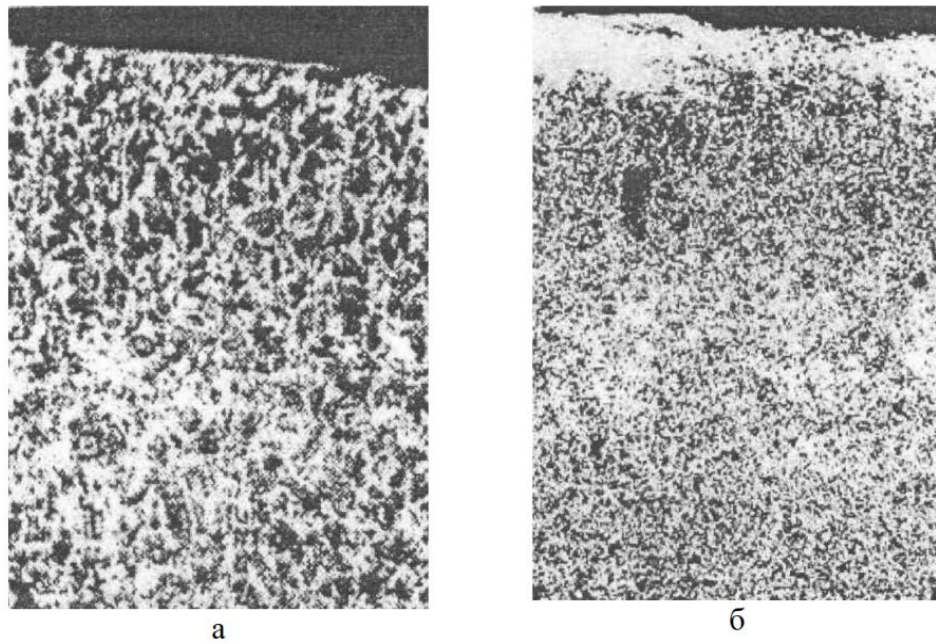
Для з'ясування причин підвищення границі витривалості в результаті хіміко-термічної обробки сталі 30ХГТ за неведеними режимами проводили вивчення структури і механічних властивостей зразків до і після обробки. У табл. 3.3 представлені результати вимірювання твердості зразків до- і після нітроцементації.

Таблиця 3.3 - Твердість і границя витривалості зразків зі сталі 30ХГТ до- і після нітроцементзації

Номер зразка	Вид обробки	Твердість HV ₁₀₀		Границя витривалості σ_{-1} , МПа
		до обробки	після обробки	
1	Нормалізація 880 °С (вихідний стан)	243	231	295
2	Гартування (880 °С в маслі) + нітроцементация (600 °С, 3 год)	533	253	460

Структура нормалізованої сталі 30ХГТ представлена ферито-перлітною сумішшю як в центрі, так і на краю зразка (рис. 3.16, а). Така структура типова для поліпшуваних сталей. Твердість сталі 30ХГТ з такою структурою практично постійна по всьому перетину зразка і становить 230...240 HV, границя витривалості невисока, близько 300 МПа.

Гартування і подальша нітроцементация призводить до утворення на поверхні зразків світлої нетравленої зони, яка представляє собою карбонітридну кірку цементитного типу (рис. 3.16, б). Структура зон, що лежать нижче карбонітридної кірки, складається в основному з мартенситу і продуктів його розпаду, які відрізняються дрібнозернистістю. Товщина кірки залежить від тривалості процесу.



а - після нормалізації; б - після нітроцементації

Рисунок 3.16 - Мікроструктура сталі 30ХГТ

Розподіл елементів по перетину дифузійного шару сталі 30ХГТ, нітроцементованої по режиму 600 °С протягом 3 годин, показує, що процес насичення зсунутий в область цементації, однак невелика кількість азоту (до 0,1%) проникає глибоко під поверхневий шар сталі. Підвищений вміст вуглецю простежується до глибини близько 250 мкм, а азоту - до глибини понад 1 мм (рис. 3.17).

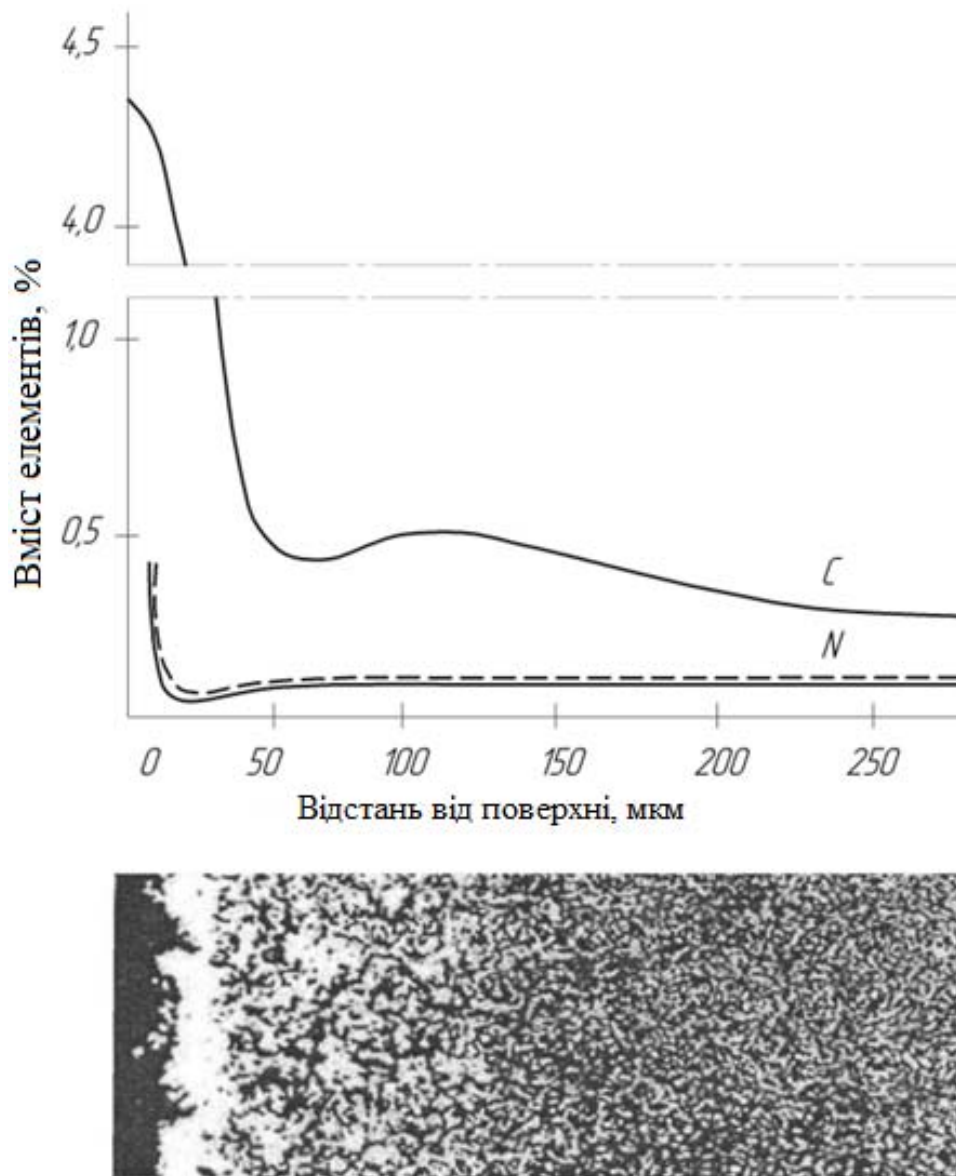


Рисунок 3.17 - Розподіл елементів по перетину нітроцементованого шару сталі 30ХГТ і структура нітроцементованого шару ($\times 400$)

Таким чином, максимальною втомною міцністю володіє нітроцементований шар з мартенситною структурою. Наявність азоту в дифузійному шарі призводить до того, що під коркою карбонітридів при охолодженні утворюється до 20% залишкового аустеніту, який і визначає високу витривалість сталі 30ХГТ.

3.4 Заключення до розділу

Проведені дослідження показують підвищену ефективність застосування нітроцементациї як хіміко-термічної обробки шестерень в порівнянні з цементациєю.

Знижена температура і велика швидкість насичення дозволяє скоротити виробничі потужності, а також збільшити ресурс роботи обладнання. Крім цього, зменшується деформація оброблюваних деталей, а також виключається необхідність проведення повторного гартування для виправлення структури за рахунок отримання більш дрібного зерна при гартуванні.

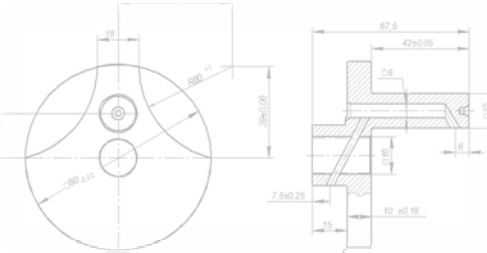
Дослідження показали, що нітроцементований шар має підвищену мікротвердість і зносостійкість при обробці сталі 20.

Вплив нітроцементациї на границю витривалості сталі 30ХГТ був неоднозначним. Високотемпературна нітроцементация знижувала границю витривалості. Після проведення низькотемпературної нітроцементациї, поверхневий шар мав вищу границю витривалості, ніж сталь, оброблена за допомогою цементациї. Однак, твердість такого шару була значно менше, що негативно позначиться на зносостійкості матеріалу.

Таким чином, в окремих випадках, коли необхідна висока зносостійкість або підвищена границя витривалості, нітроцементация є кращим видом хіміко-термічної обробки, проте цементация є більш універсальним процесом, так як забезпечує підвищення перерахованих властивостей в комплексі.

4.1 Технологія цементації

Таблиця 4.1 - Карта технологічного процесу цементації

				Технічні вимоги		
				Матеріал	Твердість	Структура
				Сталь 20	62 - 64 HRC (цементованого шару) 300 - 314 HB (серцевини)	М + А _{зал} + К _ц (цементований шар) Ф + П (серцевина)
№	Назва операції	Прилади, інструменти, обладнання	Умови нагрівання	Умови охолодження	Пристосування	Умови оброблення, контроль
1	2	3	4	5	6	7
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, лінійка, штангенциркуль, твердомір (ТШ-2)	-	-	-	Матеріал, стан поверхні, розміри, геометрія, твердість.
2	Промивання	ММТ	-	-	корзина	Мийний розчин (Na ₂ CO ₃ 4...8% у воді, Na ₂ NO ₃ 2...3%) t = 50...60°C τ = 8...10 хв

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
3 3.1	Цементация Нагрівання	СШЦ 8.12/10	Гас $t_{\text{ВП}} = 20^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{БК}} =$ $950 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{Н}} = 9,5 \pm 1$ хв	-	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
3.2	Витримка для вирівнювання температури	СШЦ 8.12/10	Гас $t_{\text{БК}} =$ $950 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{Н}} = 500 \pm 2$ хв	-	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
3.3	Охолодження	Бак з олією або маслом	-	Охолодження з піччю До 860°C Масло $t = 30 \dots 40^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ОХОЛ}} = 0,28$ ± 4 хв	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
4	Промивання	ММТ	-	-	корзина	Мийний розчин (Na_2CO_3 4...8% у воді, Na_2NO_3 2...3%) $t = 50 \dots 60^{\circ}\text{C}$ $\tau = 8 \dots 10$ хв
5	Контроль операційний	ТК-2	-	-	-	Контроль твердості, глибини цементованого шару, структура
6 6.1	Гартування Нагрівання	СНЗ 4.8.5/8,5	$t_{\text{ВП}} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{БК}} =$ $800 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{Н}} =$ 21,12 ± 1 хв, атмосфера ендотерміч не, витрати 6...7 м ³ /год	-	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
6.2	Витримка для вирівнювання температури	СНЗ 4.8.5/8,5	$t_{BK} = 800 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_B = 20 \pm 2$ хв, атмосфера ендотермічна, витрати $6 \dots 7 \text{ м}^3/\text{год}$	-	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
6.3	Охолодження	Гартівний механізований бак	-	Масло $\tau_{\text{охол}} = 0,26 \pm 2$ хв	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
7	Промивання	Мийна машина	-	-	корзина	Мийний розчин (Na_2CO_3 4...8% у воді, Na_2NO_3 2...3%) $t = 50 \dots 60^{\circ}\text{C}$ $\tau = 8 \dots 10$ хв
8	Контроль операційний	ТК-2	-	-	-	3% виробів від садки $\text{HRC} \geq 60$
9. 9.1	Відпуск Нагрівання	СНЗ 4.8.5/2	$t_{BP} = 20^{\circ}\text{C}$ $t_{BK} = 180 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_H = 47,3 \pm 1$ хв атмосфера ендотермічна, витрати $6 \dots 7 \text{ м}^3/\text{год}$	-	піддон	Температура нагріву, час, середовище
9.2	Витримка	СНЗ 4. 8.5/2	$t_{BK} = 180 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_B = 140$ хв атмосфера ендотермічна, витрати $6 \dots 7 \text{ м}^3/\text{год}$	-	піддон	Температура та час витримки

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
9.3	Охолодження	СНЗ 4. 8.5/2	-	Масло тохол = 0,053±2 хв	-	-
10	Контроль вихідний	Мікроскоп, твердомір				Контроль твердості, глибини цементованого шару, структура

Основним способом цементації в масовому виробництві на сьогоднішній день, який значно скорочує тривалість процесу, є цементация в газових середовищах.

Для цементації застосовуються низьковуглецеві і леговані сталі з вмістом вуглецю 0,1 - 0,3%. Вибір таких сталей необхідний для того, щоб серцевина виробу не наситилась вуглецем при цементації та зберігала високу в'язкість після гарту.

Деталі на цементацию надходять після механічної обробки з припуском (60 - 100 мкм) на шліфування.

Цементация проводиться при температурі вище точки A_{c3} (900 - 950 °C), коли сталь знаходиться у вигляді аустеніту і здатна розчиняти в собі до 2,14% вуглецю.

В якості карбюризатор використовується 5 – 10 % природнього газу і 90 - 95% ендогазу. Глибина науглецювання при цементації становить 0,5 - 2 мм при швидкості 0,12 - 0,15 мм/год.

Остаточно формує властивості цементованного шару деталі подальше гартування, після якого на поверхні отримується висока твердість, а серцевина зберігає потрібну пластичність і високу в'язкість.

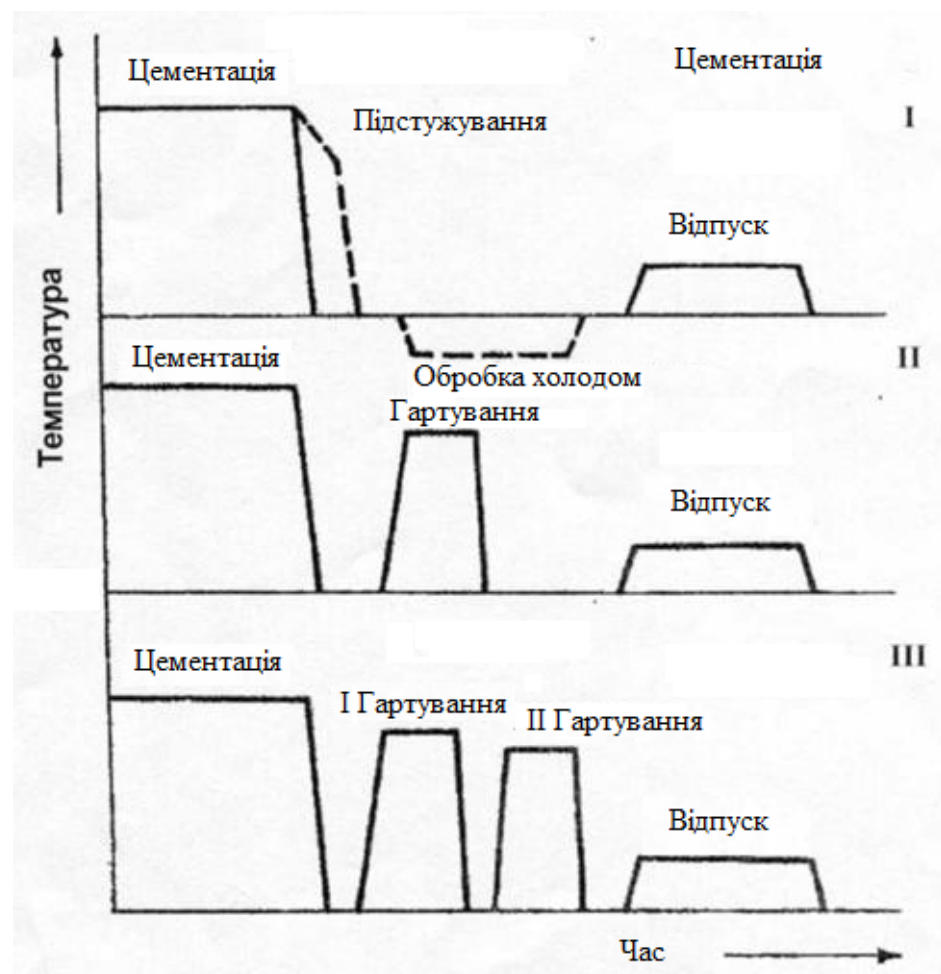
Після гарту, для зняття внутрішніх напружень цементованої деталі, піддають низькому відпуску при температурах 150 - 200 °C.

В результаті забезпечується твердість поверхні HRC 62 - 64 і серцевини - HRC 35 - 40 для легованих сталей. Для вуглецевих сталей твердість серцевини нижча.

При призначенні режиму термічної обробки цементованих деталей необхідно враховувати наступні обставини:

1. Тривалий нагрів при цементації викликає зростання аустенітного зерна.
2. Цементовані деталі мають нерівномірний розподіл вуглецю по перетину - 0,8 - 1,2% з поверхні і 0,1 - 0,3% - в серцевині.

Залежно від вимог, які пред'являються до цементованих деталей, застосовуються різні варіанти термічної обробки (рис. 4.1).



I) з одиноразовим гартуванням від температури цементації; II) з повторним гартуванням; III) з подвійним повторним гартуванням

Рисунок 4.1 - Різні режими цементації

Гартування з цементацийного нагріву ($900 - 950\text{ }^{\circ}\text{C}$). Це найбільш простий спосіб, застосовується після газової цементації для деталей, від яких вимагається лише поверхнева твердість. Інші механічні властивості тут невисокі, тому що при такому режимі не усувається грубозерниста будова, отримана в результаті тривалої витримки при цементації. На поверхні утворюється структура крупногочастого мартенситу з великою кількістю залишкового аустеніту через гартування з високих температур, що веде до зниження твердості.

Однак гартування з цементацийного нагріву забезпечує меншу деформацію деталей і значно дешевший в порівнянні з іншими режимами. Недоліки цього способу в значній мірі можна зменшити, якщо застосовувати:

- 1) спадково дрібнозернисті сталі;
- 2) підстужування після цементації до $750 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$; це не знижує кількість $A_{\text{зал}}$, але зменшує внутрішні напруження;
- 3) обробку холодом, яка забезпечує додаткове перетворення $A_{\text{зал}}$ і підвищення твердості поверхневого шару.

Гартування з $850 - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ проводиться після цементації і охолодження деталей на повітрі. В результаті сталеві деталі повторно нагрівають вище, критичної точки $A_{\text{с3}}$, в поверхневому шарі (заевтектоїдна сталь) карбіди розчиняються, в серцевині відбувається перекристалізація аустенітного зерна. Після охолодження (у воді) утворюється структура мартенситу (крупногочастого) на поверхні, тому що оптимальний нагрів заевтектоїдної сталі під гартування - $A_{\text{с1}} + (30 - 50\text{ }^{\circ}\text{C})$ близько $760 - 780\text{ }^{\circ}\text{C}$, але в серцевині отримують оптимальну величину зерна і дрібнозернисту структуру. Цей вид термічної обробки застосовують при підвищених вимогах до структури і властивостей цементованих деталей.

При особливо високих вимогах до цементованих деталей застосовується подвійне гартування з низьким відпуском. Перше гартування проводиться з температур вище критичної точки $A_{\text{с3}}$ серцевини з метою

подрібнити структуру серцевини і розчинити цементитну сітку в поверхневому шарі.

Друге гартування проводиться з температур, оптимальних для поверхневого шару (на 30 - 50 °C вище A_{c1}). Мета її - усунути перегрів на поверхні, отриманий при першому гартуванні та забезпечити структуру дрібногольчастого мартенситу з вкрапленням надлишкового цементиту. В серцевині також забезпечується дрібнозерниста структура.

Цементация з наступною термічною обробкою підвищує межу витривалості виробів через утворення в поверхневому шарі значних залишкових напружень стиснення (400 - 500 МПа) і різко знижує чутливість до концентраторів напружень. Зносостійкість і контактна міцність цементованих сталей висока і сягає 2000 МПа.

4.2 Дефекти після цементации

Іноді в заевтектоїдній зоні цементованого шару цементит збирається у великі ділянки, оточені феритом. Сталь, здатна утворювати таку структуру, називається аномальною (рис. 4.2). Грубі включення цементиту термічною обробкою усунути важко, і часто на поверхні виникають м'які плями. Особлива структура і властивості аномальної сталі пояснюються недостатнім розкисленням сталі при виплавці. Оксиди заліза розчиняються в сталі і заважають вуглецю поглинатися. М'які плями на поверхні цементованого шару особливо небезпечні для вуглецевих сталей; для легованих сталей аномальність не настільки небезпечна у зв'язку з впливом легуючі елементів, що підвищують прогартуваність. При цементации деталей з легованих сталей легуючі елементи поверхневої зони цементованого шару окислюються, що знижує міцність цементованих деталей.



Рисунок 4.2 – Аномальна структура цементовної сталі (схема)

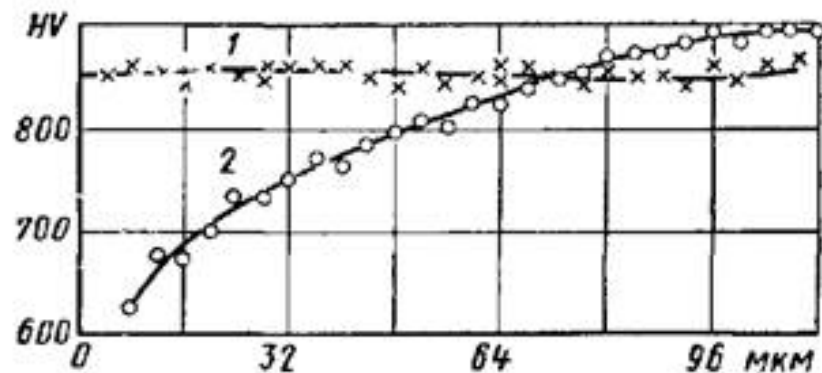
Атмосфери, які застосовуються для газової цементації, містять кисень, двоокис вуглецю і водяну пару. Нагрівання деталей з легованих сталей в таких атмосферах супроводжується утворенням оксидів заліза на поверхні металу.

При внутрішньому окисленні: 1) залізо взаємодіє з киснем атмосфери печі з утворенням на поверхні металу атомарного кисню; 2) атомарний кисень дифундує через кристалічну решітку до зони протікання реакцій окислення; 3) легуючі елементи взаємодіють з киснем. Окислення легуючих елементів з утворенням оксидів можливо в тому випадку, якщо вільна енергія утворення окислів легуючих елементів нижче вільної енергії утворення окислів заліза.

На величину зони внутрішнього окислення впливає витрата ендогазу. З підвищенням витрати ендогазу збільшується глибина зони внутрішнього окислення. Глибина окисленого шару визначається також температурою, тривалістю процесу і вмістом кисню в атмосфері печі і може досягати 0,03 мм, але можливо і більш глибоке залягання окислів. На глибину зони

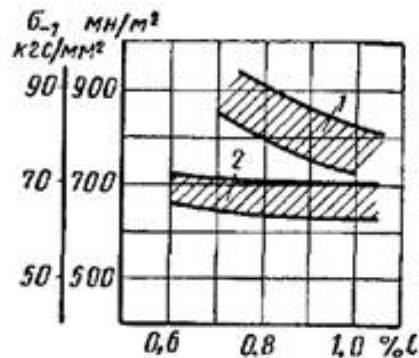
внутрішнього окислення впливає кількість легуючого елемента. Зі збільшенням вмісту хрому товщина шару оксидів зменшується. При вмісті в сталі до 0,4% Mn зона внутрішнього окислення не спостерігається. З підвищенням вмісту марганцю, особливо більш 1%, значно збільшується товщина окисленого шару. Титан міститься в сталях в невеликих кількостях, а тому вплив його незначний. Такі елементи, як нікель і, особливо, молібден, який не окислюється в ендотермічній атмосфері, зменшують внутрішнє окислення.

На процес внутрішнього окислення впливає і шорсткість поверхні. Зі зменшенням шорсткості поверхні зменшується глибина залягання оксидів і їх кількість. Внутрішнє окислення зменшує вміст легуючих елементів в твердому розчині, що знижує легування сталі, підвищує критичну швидкість гартування (знижує прогартованість) і при гартуванні в маслі призводить до немартенситного перетворення аустеніту. Тому в структурі цементованого шару на поверхні з'являється темна сітка, так звана трооститна сітка, що призводить до зниження мікротвердості при гартуванні (рис. 4.3). При відсутності внутрішнього окислення в цементованому шарі утворюється однорідна дисперсна структура мартенситу. Внутрішнє окислення впливає на показники міцності деталей. Найбільше зниження показників міцності відбувається при товщині залягання трооститної сітки більше 0,013 мм (рис. 4.4).



1) сталь 30ХГТ без трооститної сітки; 2) сталь 20 з трооститною сіткою глибиною 0,02 мм

Рисунок 4.3 – Вплив внутрішнього окислення на мікротвердість периферійної зони цементовного шару сталей 20 та 30ХГТ



1) менше 0,013 мм; 2) більше 0,013 мм

Рисунок 4.4 – Вплив товщини шару внутрішнього окислення на границю витривалості; сітка трооститу при товщині залігання

Для усунення трооститної сітки (збереження загартовування) за 5 - 10 хв до закінчення процесу вводять в атмосферу печі аміак в кількості 2,5 - 10% (при 10% -ій добавці аміаку трооститна сітка не утворюється). Це призводить до підвищення твердості при гартуванні у зв'язку з легуванням поверхневого шару азотом (вміст азоту в поверхневій зоні шару досягає 0,1 - 0,2%). Але для деталей великого перерізу азот не збільшує стійкості аустеніту навіть при вмісті його в шарі до 0,5 - 0,6%.

Довговічність деталей можна підвищити усуваючи вплив зони внутрішнього окислення наступною обробкою на металорізальних верстатах, при якій видаляється зона шару, що містить продукти немартенситного розпаду. Але в умовах масового виробництва це не завжди можливо. Крім того, при обробці на металорізальних верстатах може знизитися міцність тонких поверхневих шарів. Тому основними заходами боротьби з шкідливим впливом внутрішнього окислення є: 1) застосування сталей, легованих елементами, не схильними до окислення в ендотермічної атмосфері; 2) збільшення швидкостей охолодження при гартуванні, що запобігає появі продуктів немартенситного розпаду в поверхневих шарах деталей.

Зневуглецювання поверхні цементованого шару відбувається при підстужуванні на повітрі і при відсутності автоматичного регулювання вуглецевого потенціалу в другому періоді насичення.

У процесі цементації і подальшого гартування на мартенсит змінюються розміри і форма деталей під впливом різних напружень: залишкових (від попередньої обробки), термічних (утворилися при нагріванні і охолодженні), структурних (що виникають в результаті фазових і структурних перетворень) і зовнішніх (під дією власної маси деталей або маси садки). Для зменшення викривлення і стабілізації розмірів деталей в процесі насичення і подальшої термічної обробки можуть бути рекомендовані:

- підготовка структури і зняття наклепу після попередньої обробки;
- правильне укладання, фіксація і транспортування деталей на пристосування;
- стабілізація всіх технологічних параметрів хіміко-термічної обробки;
- правильний вибір обладнання, що застосовується; підвищення рівномірності нагріву і охолодження (наприклад, гартування в гарячому маслі з температурою 160 - 180 °С);
- підвищення рівномірності насичення (примусова циркуляція атмосфери для печей, регулювання вуглецевого потенціалу);
- гартування деталей, схильних до викривлення, в оправках і штампах; обробка холодом цементованих деталей високої точності після гартування на мартенсит та інше.

Нерівномірна глибина цементованого шару є результатом нерівномірності температури в робочому просторі печі, поганої циркуляції пічної атмосфери, наявності забруднень і сажі на поверхні цементованих деталей.

Недостатня глибина цементованого шару виходить при порушенні режиму подачі карбюризатора, зниженні температури цементації, недостатній витримці, зайвій кількості деталей в печі, забрудненні робочого

простору печі сажею і коксом, поганій герметичності робочого простору печі. Ці ж причини призводять до зниження концентрації вуглецю в цементованому шарі.

Надмірно велика глибина цементованого шару і підвищена концентрація вуглецю в шарі з утворенням грубих карбідних включень або сітки - результат високої температури процесу, тривалої витримки, застосування активного карбюризатора і великій швидкості його подачі.

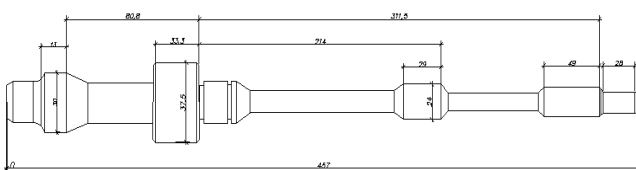
Відшаровування загартованого цементованого шару відбувається при різкому переході цементованого шару до серцевини або наявності карбідної сітки через високу активність і великій швидкості подачі карбюризатора.

Плямиста цементация виходить при аномальній структурі сталі, забрудненні деталей, нерівномірному відкладенні сажі на цементованій поверхні, неправильному укладанні деталей. Так як поява дефектів при цементации може бути пов'язана не тільки з природою сталі, як показано вище, але і з порушенням технології процесу цементации, основною вимогою при проведенні цементации є суворий контроль і дотримання технологічного режиму.

4.3 Технологія нітроцементации

Типова карта техпроцесу нітроцементации показана в табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Карта технологічного процесу валу зі сталі 30ХГТ

				Технічні вимоги		
				Матеріал	Твердість	Структура
№	Назва	Прилади,	Умови	30ХГТ	58-62 (Нітроцементований шар), 36 – 42 (серцевина)	М + А _{зал} + К _{II} (нітроцементований шар) Ф + П (серцевина)
				Умови	Пристосування	Умови

	операції	інструменти, обладнання	нагрівання	охолодження		оброблення, контроль
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вхідний контроль	Стилоскоп, лінійка, штангенциркуль, твердомір (ТШ-2)	-	-	-	Матеріал, стан поверхні, розміри, геометрія, твердість.

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7
2.	Промивання	ММТ	-	-	корзина	Мийний розчин (Na_2CO_3 4...8% у воді, Na_2NO_3 2...3%) $t = 50...60^\circ\text{C}$ $\tau = 8...10$ хв
3. 3.1	Нітроцемент ація Нагрівання	СШЦ 8.12/10	Гас, аміак $t_{\text{ВП}} = 20^\circ\text{C}$ $t_{\text{БК}} = 850 \pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{н}} = 26 \pm 1$ хв	-	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
3.2	Витримка для вирівнювання температури	СШЦ 8.12/10	Гас, аміак $t_{\text{БК}} = 850 \pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{в}} = 200 \pm 2$ хв	-	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
3.3	Охолодження	Бак з олією	-	Охолодження з піччю До 810°C Масло $t = 30...40^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{охол}} = 0,26 \pm 4$ хв	піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
4.	Промивання	ММТ	-	-	корзина	Мийний розчин (Na_2CO_3 4...8% у воді, Na_2NO_3 2...3%) $t = 50...60^\circ\text{C}$ $\tau = 8...10$ хв

5.	Контроль операційний	ТК-2	-	-	-	Контроль твердості, глибини цементованого шару, структура
----	----------------------	------	---	---	---	---

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7
6.1	Відпуск Нагрівання	СНЗ 4.8.5/2	$t_{\text{ВП}} = 20^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{ВК}} = 180 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{Н}} = 56 \pm 1$ хв атмосфера ендотермічна, витрати $6 \dots 7 \text{ м}^3/\text{год}$	-	піддон	Температура нагріву, час, середовище
6.2	Витримка	СНЗ 4.8.5/2	$t_{\text{ВК}} = 180 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{В}} = 140$ хв атмосфера ендотермічна, витрати $6 \dots 7 \text{ м}^3/\text{год}$	-	піддон	Температура та час витримки
6.3	Охолодження	Гартівний бак	-	повітря $\tau_{\text{охол}} = 0,053 \pm 2$ хв	-	-
7.	Контроль вихідний	Мікроскоп, твердомір	-	-	-	Контроль твердості, глибини цементованого шару, структура

Заготовку для нітроцементзації металу поміщають в середовище із суміші газів, в яку входить аміак і природний газ. Далі метал нагрівають і витримують в газовій суміші, яка складається з суміші природного газу, ендогазу і аміаку. При цьому відбувається дифузія атомів вуглецю і азоту в

метал і змінюються його фізико-механічні властивості. Попутно утворюються тверді розчини з'єднань вуглецю, азоту та заліза. Сумарний вміст азоту і вуглецю визначається товщиною нітроцементованого шару і хімічним складом сталі (табл. 4.3).

Присутність азоту в атмосфері призводить до наступних особливостей нітроцементатації, на відміну від цементатації:

- Додаткове насичення поверхні азотом;
- Зниження температури нагріву для можливості здійснення процесу;
- Прискорення процесу дифузії вуглецю.

Таблиця 4.3 - Рекомендоване насичення, товщина і якість нітроцементованого шару для деяких сталей

Марка сталі	Оптимальний вміст у шарі, %		Товщина шару, мм	Вміст залишкового аустеніту, %
	вуглецю	вуглецю і азоту		
40X	0,65 – 0,95	1,0 – 1,25	0,25 – 0,45	16 - 30
25ХГТ	0,65 – 0,95	1,0 – 1,25	0,4 – 0,6	до 35
25ХГМТ	0,75 – 1,15	1,25 – 1,6	0,5 – 0,7	50

Варіюючи параметри процесу, тобто склад газової суміші, температур, час обробки, можна змінювати глибину насичення. З підвищенням температури збільшується швидкість дифузії вуглецю і азоту в глибину металу. Глибина проникнення атомів газу в метал регулюється часом витримки нагрітого виробу у робочому середовищі (рис. 4.5).

Різниця між нітроцементатацією і ціануванням полягає тільки в технології. Деталі, поверхня яких зміцнена за допомогою ціанування або нітроцементатації, матимуть однакові технічні характеристики. При ціануванні оброблювані деталі поміщають в розплав ціаністих солей натрію або

кальцію. Температура обробки залишається приблизно така ж, як і при газовій обробці. При ціанування можна легко отримати легований шар металу до 2-х мм, але при цьому слід пам'ятати, що при збільшенні товщини шару в структурі починають з'являтися темні області, добре помітні під мікроскопом, які вказують на надлишок азоту на межах кристалів. Дані області знижують механічну міцність, збільшуючи крихкість металу

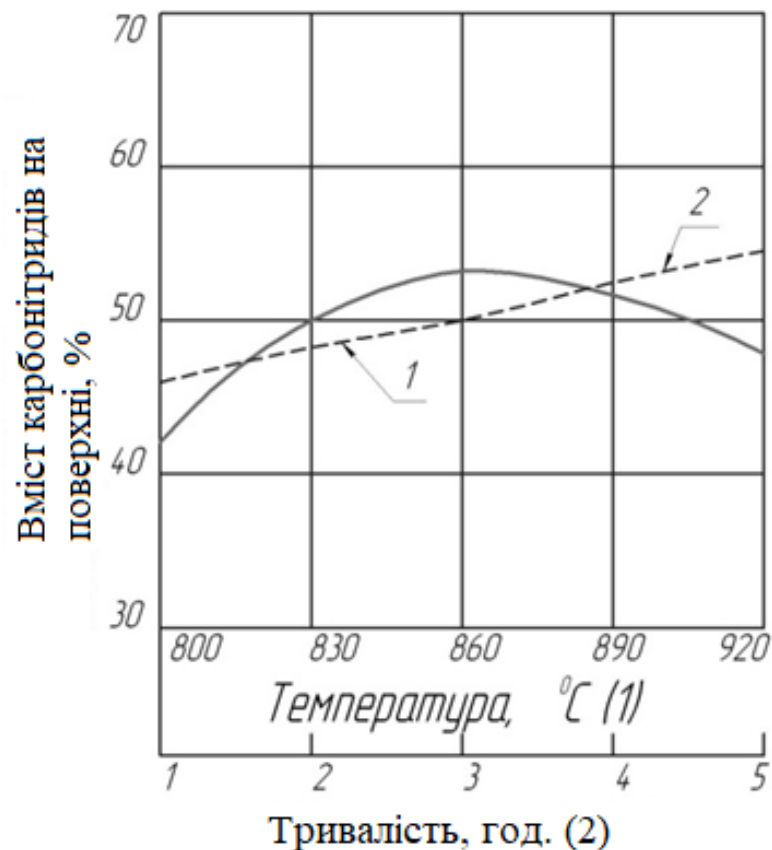


Рисунок 4.5 - Вплив температури і тривалості на глибину нітроцементациї

Застосування нітроцементациї або ціанування можливо тільки для легованих сталей, в яких вуглець міститься в кількості не більше 0,25%. Для здійснення процесу дифузії азоту і вуглецю з середовища газу метал нагрівають до температури 700 - 950 °C. Найбільш часто робота ведеться при температурі нітроцементациї 850 - 870 °C. Низька температура обробки дозволяє об'єднати в єдиному процесі кілька видів обробки. Деталі після закінчення процесу насичення потребують невеликого часу на підстиження

для подальшого гартування в маслі (рис. 4.6). Таким чином, гартування в маслі можна проводити безпосередньо в нітроцементатійній печі.

Нітроцементатацію найкраще застосовувати для деталей складної геометричної форми, до яких висувають підвищені вимоги до форми поверхні і абсолютно неприпустиме утворення гартівних тріщин.

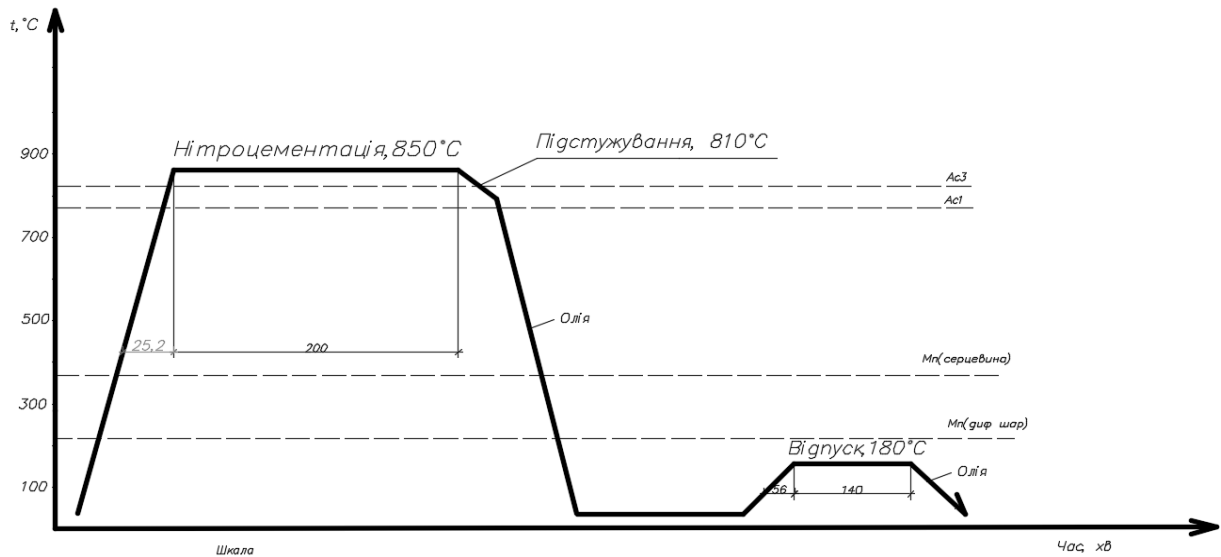


Рисунок 4.6 - Режим термообробки валу зі сталі 30ХГТ

4.4 Основні дефекти, що виникають при нітроцементатії

Як було вказано вище, нітроцементатація призводить до підвищеного вмісту залишкового аустеніту. Надто велика його кількість викликає зниження контактної та втомної міцності. На це впливають температура нітроцементатії, хімічний склад сталі і сумарний вміст азоту та вуглецю. В загартованому шарі (рис. 4.7) може бути присутнє до 60 - 70% залишкового аустеніту, тому граничний вміст нікелю в сталях повинен складати не більше 1,2%. Сумарний вміст вуглецю і азоту має бути в необхідних межах. Зниження вмісту вуглецю призводить до утворення структури низьковуглецевого мартенситу з трооститом. При збільшенні вмісту вуглецю зростає кількість залишкового аустеніту і з'являється карбонітридна фаза, що

знижує стійкість аустеніту у зв'язку з переходом азоту і вуглецю в карбонітриди. При цьому на поверхні з'являється трооститна сітка (рис. 4.8). Присутність карбонітридів в шарі знижує також опір ударним навантаженням в результаті окрихчування шару. При вмісті азоту в шарі менше 0,1% внаслідок внутрішнього окислення відбувається збіднення твердого розчину легуючими елементами і з'являються продукти немартенситного перетворення аустеніту (трооститна сітка).

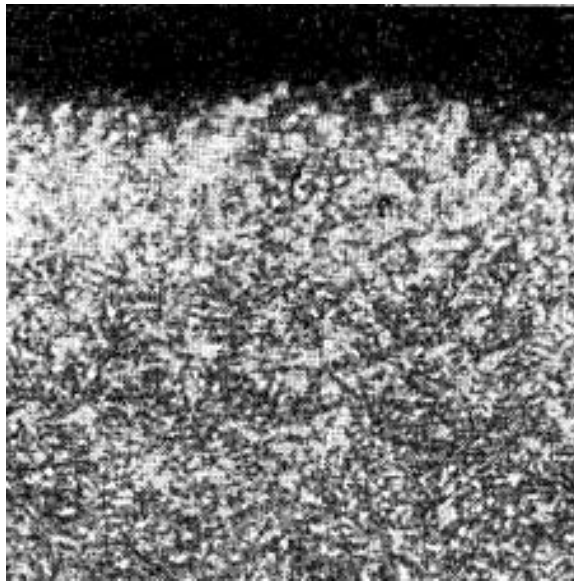


Рисунок 4.7 – Мікроструктура нітроцементовного шару сталі після гартування та низького відпуску (x400)

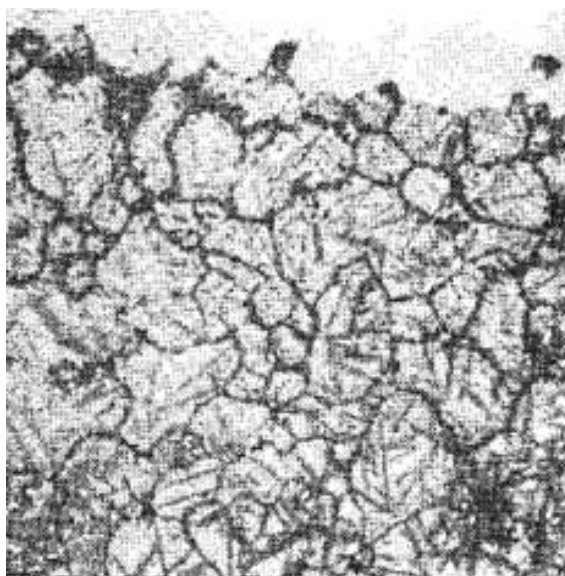


Рисунок 4.8 – Мікроструктура нітроцементованого шару з трооститною сіткою (x500)

З підвищенням вмісту азоту в поверхневому шарі з'являється дефект у вигляді темних плям, що добре видно тільки на нетравлених шліфах, названі темною складовою (рис. 4.9).

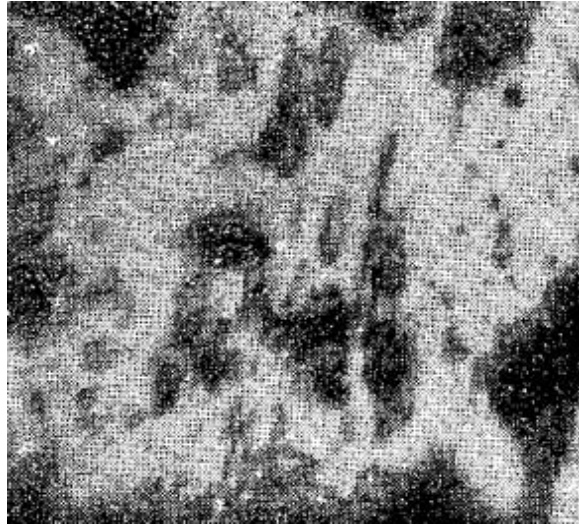


Рисунок 4.9 – Мікроструктура темної складової в нітроцементованому шарі без тривалення (x1000)

Темна складова являє собою пори, що виникають при великому тиску молекулярного азоту в шарі і заповнені оксидами, утвореними внаслідок розвитку внутрішнього окислення в ендотермічних атмосферах. Цей дефект є незворотнім і не усувається повторною фазовою перекристалізацією. Наявність темної складової знижує границю витривалості на 45 - 75%. Цей дефект спостерігається тільки при вмісті азоту в шарі більше 0,5%, тому вміст азоту 0,45% вважається граничним.

Дефектом нітроцементованого шару є також і зневуглицювання, яке знижує границю витривалості на 20 - 25%. Зневуглицювання може відбуватися при зниженні вуглецевого потенціалу в кінці процесу, при порушенні співвідношення вуглецю і азотуючих компонентів, що містяться в газовій атмосфері, при передачі деталей з печі по повітрю в гартівний бак.

На механічні властивості нітроцементованого шару впливає процес деазотування. Азот, що знаходиться в сталі у твердому розчині або у вигляді нітридів, при нагріванні має здатність випаровуватися. При нітроцементзації в перший період процесу відбувається одночасне насичення вуглецем і азотом. У другому періоді насичення азотом призупиняється, і навіть при постійному складі газового середовища концентрація азоту на поверхні дифузійного шару знижується. Деазотування збільшується з підвищенням температури і тривалості витримки. При охолодженні на повітрі і повторному нагріву під гартування деазотування досягає 90%. Тому високі механічні властивості сталі можуть бути отримані тільки при безпосередньому гартуванні після нітроцементзації.

4.5 Обладнання, що застосовується для проведення ХТО

Оскільки процеси нітроцементзації і цементзації технологічно дуже схожі, для них може використовуватися одне і теж саме обладнання, що суттєво полегшує перехід на інший асортимент продукції або зміну технології виробництва (табл.). У дрібносерійному та індивідуальному виробництві - це печі періодичної дії шахтного типу або камерного типу (СШЦ, СШЦМ, СНЦ), а у великосерійному і масовому - безмуфельні агрегати безперервної дії.

Печі періодичної дії можуть бути як з модулем підготовки пічних атмосфер, так і в спрощеному виконанні: з крапельницею, без контролю потенціалу.

Режим подачі карбюризатора і аміаку впливає на склад газів в печі, а отже, і на вміст вуглецю і азоту в цементованому і нітроцементованому шарах. Щоб отримати насичення насиченого шару в необхідних межах, при ХТО в агрегатах безперервної дії застосовують пристрої для автоматичного

регулювання складу пічної атмосфери. Регулювання газового режиму здійснюється автоматично з високою точністю за допомогою спеціальних приладів - інфрачервоних газоаналізаторів-регуляторів. При використанні шахтних печей періодичної дії в більшості випадків поки застосовують ручне регулювання.

Таблиця 4.4 – Основне обладнання, що використовується для проведення ХТО

Призначення	Тип обладнання	Середовище
Відпал, нормалізація, нагрів під гартування вуглецевих і легированих сталей	Камерні та шахтні печі типу СШЗ і СНЗ	Ендогаз, інертні гази, азот
Хіміко-термічна обробка: цементация, н ітроцементация	Соляні ванни типу СВС, робоча температура до 950°C	Різні співвідношення ціанатів, поташу і вуглекислого натрію; Різні склади ціанистого натрію NaCN (від 10 до 50%) і неактивних солей
	Камерні і шахтні печі типу СШЦМ і СНЦ	Ендогаз, вуглеводневі гази, рідкі карбюратори, аміак

У масовому і великосерійному виробництві, коли необхідна висока продуктивність, застосовують безмуфельні агрегати безперервної дії. До складу таких агрегатів входять цементацийна піч, гартівний бак, мийна машина і відпускна піч. Все це обладнання встановлюється в лінію, а частіше по замкнутому контуру, так, щоб завантаження деталей на піддони і їх розвантаження були в одному місці. Весь цикл обробки в таких агрегатах механізований і автоматизований. Оброблювані деталі встановлюються на піддони, які за допомогою штовхачів переміщаються в агрегаті, проходячи послідовно всі операції. Завдяки цьому досягається висока продуктивність.

При цьому робочий простір печі залишається ізольованим від зовнішньої атмосфери. Завдяки цьому виключається знеуглецювання, окислення і підвищується якість обробки.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Цементациєю називається процес насичення поверхневого шару сталі вуглецем. Метою цементациї є отримання твердої і зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглецем і наступним гартуванням з низьким відпуском. Цементация і подальша термічна обробка одночасно підвищують і границю витривалості.

Для цементациї зазвичай використовують низьковуглецеві сталі (0,12 - 0,23% C). Вибір таких сталей необхідний для того, щоб серцевина виробу, не насичена вуглецем при цементациї, зберігала високу в'язкість після гартування.

Нітроцементациєю називають процес дифузійного насичення поверхневого шару стали одночасно вуглецем і азотом при 840 - 860 °C в газовому середовищі, що складається з метану і аміаку. Нітроцементация сталей використовується для тих же цілей, що і цементация, однак має ряд переваг. Процес насичення відбувається при меншій температурі, а також має меншу тривалість, що позитивно позначається на коштовності виробництва деталей зі зміцненим поверхневим шаром.

Метою даного дослідження було порівняння та вибір оптимальної технології виробництва деталей з підвищеною твердістю поверхневого шару.

Впровадження технології нітроцементациї дозволить отримати дифузійно-зміцнений поверхневий шар на деталях швидше та при меншій температурі. Отримані за цією технологією деталі відрізняються підвищеними характеристиками твердості, зносостійкості та границі витривалості. Використання даної технології дозволить отримати економічний ефект та збільшити рівень конкурентноспроможності деталей.

5.2 Система планування та управління

5.2.1 Складання переліку етапів робіт

Планування розробки визначення ефективності проведеного дослідження здійснюється за допомогою наступного методу мережевого планування і управління (СПУ).

Система СПУ включає в себе:

- складання переліку етапів і визначення тривалості виконання робіт;
- побудова графіка Ганта;

Весь комплекс розробки проекту підрозділяється на етапи. За кожним з етапів розраховується трудомісткість, виконавці та тривалість робіт.

Для визначення трудомісткості використовується імовірнісна оцінка часу виконання робіт.

Очікуваний час виконання етапу визначається за формулою:

$$t_{oc} = \frac{t_{min} + 4t_{avg} + t_{max}}{6}, \quad (5.1)$$

де t_{min} - мінімально необхідний час на виконання етапу робіт при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} - максимальні витрати часу на виконання роботи за певним етапом у несприятливих умовах, днів.

Ступінь правильності визначення t_{oc} перевіряється розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальною і максимальною оцінками часу).

Дисперсія визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{max} - t_{min}}{5} \right)^2 \quad (5.2)$$

Якщо дисперсія менше або дорівнює 1, то тимчасові оцінки робіт

вважаються обраними коректно, що говорить про малий ступінь невизначеності в значеннях максимальної та мінімальної тривалості робіт. Результати розрахунку наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Тривалість етапів робіт

№	Найменування роботи	Тривалість			Дисперсія	Виконавці		Тривалість, днів
		t_{min}	t_{max}			Спеціальність	Кількість, чол	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Вибір теми, ознайомлення з нею, обґрунтування	2	3	2	0,04	Старший науковий співробітник	1	2
2	Виявлення та підбір літератури з теми, її вивчення	3	4	3	0,04	Старший науковий співробітник	1	3
3	З'ясування об'єкта, предмета, завдань дослідження	4	5	4	0,04	Старший науковий співробітник	1	4
4	Складання бази даних	3	4	3	0,04	Молодший науковий співробітник	1	3
5	Складання потрібного плану роботи, узгодження з керівником	3	4	3	0,04	Молодший науковий співробітник	1	3
6	Огляд характеристик та особливостей експлуатації деталей автомобілів	5	6	5	0,04	Молодший науковий співробітник	1	5

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Огляд основних матеріалів для виробництва деталей машин	5	6	5	0,04	Молодший науковий співробітник	1	5
8	Аналіз впливу легувальних елементів на структуру і властивості деталей машин	6	8	7	0,16	Молодший науковий співробітник	1	7
9	Розгляд основних методів термічної обробки деталей машин	8	9	8	0,04	Молодший науковий співробітник	1	8
10	Проведення дослідження мікроструктур	7	9	8	0,16	Лаборант	1	8
11	Виготовлення зразків для подальших досліджень та їх термічна обробка	4	6	5	0,16	Лаборант	1	5
12	Проведення механічних та промислових випробувань	3	4	3	0,04	Лаборант	1	3
13	Огляд технології виготовлення та термічної обробки циліндричної пружини автомобіля	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4
14	Порівняльний аналіз властивостей після різних варіантів ХТО	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4
15	Розгляд та аналіз технологічних процесів, що застосовуються на	6	7	6	0,04	Молодший науковий співробітник	1	6

	виробництві							
--	-------------	--	--	--	--	--	--	--

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Формування та розрахунок економічної частини	2	3	2	0,04	Молодший науковий співробітник	1	2
17	Формування розділу з охорони праці	2	3	2	0,04	Молодший науковий співробітник	1	2
18	Оформлення пояснювальної записки	6	6	6	0	Молодший науковий співробітник	1	6
Всього		77	97	80		-	-	80

5.2.2 Графік Ганта

Графік Ганта - це тип стовпчастих діаграм (гістограм), який використовується для ілюстрації плану, графіка робіт по проекту. Він складається зі смуг, що орієнтовані вздовж осі часу. Кожна смуга на діаграмі представляє окрему задачу у складі проекту (вид роботи), її кінці - моменти початку і завершення роботи, її протяжність - тривалість роботи. Вертикальною віссю діаграми служить перелік завдань.

Графік Ганта будується за даними табл. 5.2 і представлений на рис. 5.1.

Таблиця 5.2 – Список робіт графіка Ганта

№	Код роботи	Найменування роботи	Тривалість, днів
1	2	3	4
1	1 – 2	Вибір теми, ознайомлення з нею, обґрунтування	2
2	2 – 3	Виявлення та підбір літератури з теми, її вивчення	3
3	3 – 4	З'ясування об'єкта, предмета, завдань дослідження	4
4	4 – 5	Складання бази даних	3
5	5 – 6	Складання потрібного плану роботи, узгодження з керівником	3
6	6 – 7	Огляд характеристик та особливостей експлуатації деталей автомобілів	5
7	7 – 8	Огляд основних матеріалів для виробництва деталей машин	5
8	8 – 9	Аналіз впливу легувальних елементів на структуру і властивості деталей машин	7
9	9 – 10	Розгляд основних методів термічної обробки деталей машин	8
10	10 – 11	Проведення дослідження мікроструктур	8
11	11 – 12	Виготовлення зразків для подальших досліджень та їх термічна обробка	5

12	12 – 13	Проведення механічних та промислових випробувань	3
13	13 – 14	Огляд технології виготовлення та термічної обробки циліндричної пружини автомобіля	4

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
14	14 – 15	Порівняльний аналіз властивостей після різних варіантів ХТО	4
15	15 – 16	Розгляд та аналіз технологічних процесів, що застосовуються на виробництві	6
16	16 – 17	Формування та розрахунок економічної частини	2
17	17 – 18	Формування розділу з охорони праці	2
18	18 – 19	Оформлення пояснювальної записки	6

Побудовано графік подій, графік Ганта, таблицю списку робіт.

Графік Ганта показує, що розподіл часу для всіх робіт є досить рівномірним. Найтривалішими є роботи № 8, 9 та 10, а найкоротшими – № 1, 16 та 17. Виконання всіх робіт займає 80 днів з 28.09.2018 по 17.12.2018. Роботи виконувались послідовно.

5.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення НДР

До складу витрат на проведення НДР входить вартість усіх ресурсів, які необхідні для реалізації комплексу робіт.

Складаємо кошторис витрат за статтями:

- матеріали та транспортні витрати;
- енергія і паливо;
- спеціальне обладнання і технологічне оснащення;
- амортизація універсального устаткування;
- заробітна плата основна і додаткова;
- відрахування на соціальне страхування;
- накладні витрати.

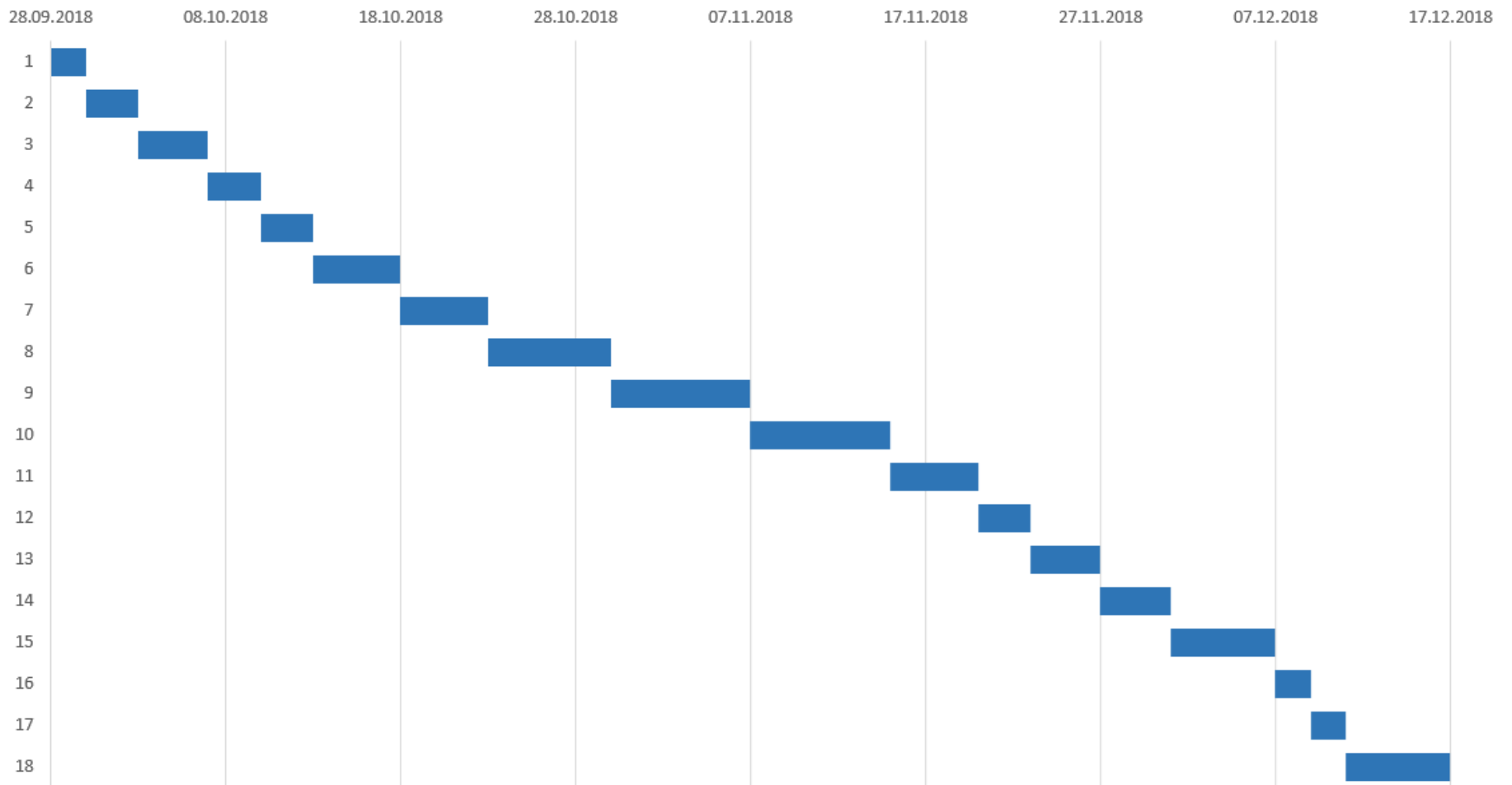


Рисунок 5.1 – Графік Ганта

5.3.1 Розрахунок вартості матеріалів

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження (табл. 5.3).

Ціни на матеріальні ресурси визначають за відповідними прайс-листами. Транспортно-заготівельні витрати: 2–5 % від вартості матеріалів.

Таблиця 5.3 – Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал, ГОСТ	Марка	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, грн./кг	Сума витрат, грн.
Сталь конструкційна, ГОСТ 2590-88	20	10	16,6	166
Сталь конструкційна, ГОСТ 4543 - 71	30ХГТ	10	22,74	227,4
Травник	Розчин Марбле $\text{HCl} + \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	0,1	200	20
Фотопапір	—	—	—	30
Реактиви	—	—	—	320
Разом				763,4
Транспортно-заготівельні витрати				38,17
Всього з урахуванням транспортно-заготівельних витрат				801,57

5.3.2 Спеціальне устаткування для науково – технічних робіт

В цій статті враховуються витрати на закупівлю, доставку і монтаж лабораторних установок, вимірювальних і регулюючих приладів, пристроїв,

випробувальної апаратури і тому подібне (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Собівартість експлуатації, грн.
Піч термічна	СШЦ 8.12/10	1	157000	6280
Мікротвердомір	“Beuhler” MM7T	1	18100	362
Оптичний мікроскоп	KERN OKO-1	1	124542	2630
Розривна машина	P10	1	11700	234
Іспитова машина	“INSTRON” 2801	1	33000	660
Разом				10167

5.3.3 Розрахунок вартості палива і енергії

Під час проведення дослідів були використані наступні енергоспоживаючі ресурси:

- Оптичний мікроскоп KERN OKO-1;
- розривна машина P10;
- іспитова машина “INSTRON” 2801;
- термічна піч СШЦ 8.12/10.

Витрати на енергію E_c визначаємо за формулою:

$$(5.1) \quad E_c = \frac{P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_v \cdot C_e}{\text{ККД}},$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;

K_b – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ($K_b = 0,8$);

C_e – ціна 1 кВт година електроенергії, $C_e = 1,78$ грн/ кВт година;

$\text{ККД} = 0,6 - 0,7$.

Розрахунок витрат на енергію заносимо у таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енергоресурсів	Ефективний фонд часу роботи, год	Вартість енергоресурсів, грн
Термічна піч СШЦ 8.12/10	Електроенергія	36	9569,28
Оптичний мікроскоп KERN OKO-1	Електроенергія	24	42,72
Розривна машина P10	Електроенергія	24	563
Іспитова машина “INSTRON” 2801	Електроенергія	24	563
Мікротвердо мір “Beuhler” MM7T	Електроенергія	12	21
Разом			10759

Суму амортизаційних відрахувань від балансової вартості універсального устаткування, що відносяться до основних фондів, розраховується у відповідності їх зайнятості для НДР.

Результати розрахунку зводимо у таблицю 5.6.

5.3.4 Розрахунок амортизації універсального устаткування

Таблиця 5.6 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Устаткування	Балансова вартість, грн	Норма амортизації, %	Зайнятість устаткування, год	Річний ефективний фонд часу, год	Сума амортизації, грн
1	2	3	4	5	6
Термічна піч СШЦ 8.12/10	157000	24	36	5580	1012,9
Оптичний мікроскоп KERN OKO-1	124542	24	24	1860	535,66
Розривна машина P10	11700	24	24	1860	50,32
Іспитова машина “INSTRON” 2801	33000	24	24	1860	141,94
Мікротвердомір “Beuhler” MM7T	18100	24	12	1860	38,92
Разом					1779,74

5.3.5 Розрахунок заробітної плати

Витрати по цій статті складаються з планового фонду заробітної плати усіх категорій працівників, зайнятих в проведенні наукових досліджень.

Розрахунок заробітної плати робиться на підставі даних про трудомісткість (табл. 5.7).

Кількість місяців роботи науково–дослідної групи задається на підставі терміну виконання дипломної роботи.

В даному випадку не більше 10 місяців. Результати розрахунків зводяться в таблиці.

Додаткова заробітна плата складає 10 % від основної заробітної плати.

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості.

Таблиця 5.7 – Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада виконавця	Кількість, Людей	Місячний оклад, грн	Середньо денна зарплата, грн	Зайнятість, днів	Сума, грн
1	Головний науковий співробітник	1	6200	310	11	3410
2	Молодший науковий співробітник	1	4057	202,85	53	10751,05
3	Лаборант	2	2320	116	16	3712
Разом						17873,05

5.3.6 Відрахування на соціальні заходи

Ці витрати визначаються в розмірі 22 % від основної й додаткової заробітної плати: $(17873,05 + 1787,305) \times 0,22 = 4325,28$ грн.

5.3.7 Накладні витрати

Накладні витрати по проведенню науково–дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців (у межах 80 – 100 %). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно–гігієнічних умов. Накладні витрати для НДР складають 90 % від суми основної заробітної плати, а саме 16085,745 грн.

5.3.8 Кошторис витрат

У складі витрат на проведення НДР враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

З метою визначення витрат на проведення науково–дослідницької роботи слід скласти кошторис витрат (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат на виконання НДР

Статті витрат	Сума, грн
1	2
Матеріали, покупні вироби і напівфабрикати (за відрахуванням відходів, що реалізуються)	801,57
Енергія	10759
Спеціальне устаткування для наукових (експериментальних) робіт	10167

1	2
Основна і додаткова заробітна плата виробничого персоналу	17873,05
Відрахування на соціальне страхування (від суми основної і додаткової заробітної плати)	4325,28
Накладні витрати	16085,745
Всього витрати на проведення НДР	60011,645

5.3.9 Бальна оцінка економічної ефективності науково-дослідної роботи

Наукові дослідження, прямий підрахунок економічної ефективності по яких не можливий, оцінюють за допомогою бальної системи (табл. 5.9).

Бальна оцінка проводиться по наступних найважливіших показниках:

- важливість розроблення K_1 ;
- можливість використання результатів розроблення K_2 ;
- теоретична значимість і рівень новизни дослідження K_3 ;
- складність розроблення K_4 .

За допомогою характеристик даних показників визначається кількість балів.

Загальна оцінка встановлюється за добутком коефіцієнтів:

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

Питомий ефект (ПЕ) на кожний бал – 2 500 грн.

Загальний ефект (Е) від розробки складає:

$$E = 2500 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 120000 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.11 – Шкала для оцінки ефективності

Показник	Характеристика	Бали
K_1	Робота ініціативна і не є завданням відомчих органів	1
K_2	У масштабах країни	8
K_3	Аналіз, узагальнення й класифікація відомої інформації. Подібні результати були відомі в досліджуваній області.	2
K_4	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000 – 50000 грн	3

Економічна ефективність науково–дослідницької роботи визначається за допомогою коефіцієнта ефективності, що характеризує частку загального ефекту від розробки, що приходить на одну грн. витрат (собівартості НДР):

$$K_e = \frac{120\,000}{60\,011,64} = 2,0$$

На підставі проведених розрахунків можна стверджувати, що робота є економічно доцільною. Витрачені кошти на наукову розробку дозволять в подальшому підвищити ресурс роботи і надійність деталей. Економічний ефект від використання нітроцементациї замість цементациї, складає 2,0 грн на 1 грн витрат.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні впливу ХТО на структуру та властивості конструкційних сталей.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

- можливість ураження електричним струмом, що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки при користуванні дослідницьким обладнанням при проведенні досліджень, що може призвести до електричних травм чи летального наслідку;

- можливість отримання термічних опіків внаслідок випадкового торкання нагрітих поверхонь дослідницького обладнання або зразків, необережним поводженням з ними та нехтуваннями індивідуальними засобами безпеки;

- можливість отримання хімічних опіків внаслідок необережного очищення зразків травильними розчинами або нехтуванням індивідуальними засобами захисту для захисту від впливу хімічних речовин;

- можливість механічних травм унаслідок недотримання правил з охорони праці при виготовленні дослідницьких зразків, а також через незадовільний стан робочої зони, непередбаченим контактом із частинами обладнання, що рухається або переміщається;

- можливість механічних травм, що може бути пов'язане із порушенням правил охорони праці, зокрема з невикористанням спеціального одягу, що може призвести до травмування нижніх кінцівок при падінні зразків, порізів гострими кромками;

- можливість травмування органів зору внаслідок порушення правил користування оптичним мікроскопом при дослідженні зразків з хибним вибором світлофільтрів, що негативно впливає на зір;
- негативний вплив електромагнітного поля, електромагнітного випромінювання та іонізаційного випромінювання при виконання досліджень на електронному мікроскопі;
- незадовільні параметри повітряного середовища (температура, вологість, переміщення повітряних мас) внаслідок неефективної роботи системи опалювання та незабезпечення необхідного повітрообміну;
- незадовільне освітлення робочої зони внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або надмірної їх забрудненості, що може призвести до механічного травматизму та зниження працездатності;
- можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки чи виходу з ладу обладнання, що може призвести до пожежі;
- небезпека, яка пов'язана з невідповідною готовністю персоналу в умовах надзвичайної ситуації.

6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ – 2011 «Правила устройства электроустановок» передбачається:

- всі співробітники лабораторії мають мати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не має перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
- періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних

провідників. У тому разі, якщо при дотику до неструмопровідних частин електроприводу відчувається електричний струм, передбачається від'єднання приладу від електромережі. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше III групи) з електробезпеки:

1) усі ремонтні роботи на мікроскопі проводять тільки після повного від'єднання від електричної мережі. При зміні катоду після розкриття електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусуючого електроду, треба зняти заряд з катодного вузла шляхом його заземлення;

2) усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двом особам.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачено використовувати ізоляцію дротів.

Для запобігання термічним та хімічним опікам передбачено виконання роботи в спецодязі (халат, рукавиці) відповідно до ДСТУ 3962-2000 та ГОСТ 12.4.137-2001 та проведенням вчасних інструктажів з техніки безпеки.

Для виготовлення зразків використовують хімічні реактиви, робота з якими також може бути небезпечною для життя людини, тому необхідно дотримуватися наведених нижче правил.

Транспортування пляшок з кислотами зі складу до лабораторії передбачено проводити у міцних плетених кошиках з двома ручками (всередині обкладених соломною або стружкою).

Розливання кислот з пляшок проводиться за допомоги сифонів під витяжною вентиляцією шляхом нахилу пляшки в кошику двома робітниками. Якщо витяжна вентиляція відсутня, то розливання проводиться у протигазах. Згідно з ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» під час розливання робочі мають бути одягненими у гумові фартухи, рукавиці, чоботи та захисні окуляри.

Травлення шліфів хімічними реактивами проводити у витяжній шафі. Поруч має бути проточна вода.

У разі використання міцних реактивів травлення проводити в гумових рукавицях, обов'язково у витяжній шафі.

Передбачено перенесення лугів та лужних металів пінцетом або порцеляною ложкою.

Розчинення твердих їдких лугів проводиться у жаростійкому посуді. Товстостінні сосуди від нерівномірного нагрівання можуть тріснути.

У разі поєднання розчинів кислот та лугів відбувається нейтралізація, яка супроводжується розігріванням та розбризкуванням. Для нейтралізації користуються тільки розбавленими розчинами.

При опіках поверхні шкіри кислотою або лугом (ІІІ клас шкідливості) постраждалому необхідно надати першу допомогу:

- ретельно промити місце опіку великим струменем води;
- промити ділянку опіку: при опіках кислотою – 10% розчином бікарбонату натрію, при опіках лугом – 3-5% (за об'ємом) розчином оцтової кислоти або 1-2% (за об'ємом) розчином соляної кислоти.

У разі потрапляння лугу або кислоти в очі або ротову порожнину нейтралізацію після попереднього промивання водою проводять:

- при попаданні кислоти – 5% розчином бікарбонату натрію;
- при попаданні лугу – 2% розчином борної кислоти або 3% розчином оцтової кислоти.

Для виключення механічного травмування в лабораторії передбачені такі заходи згідно з ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.» та ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»:

- перед початком роботи потрібно підготувати робоче місце до безпечної роботи, підтримувати його в чистоті протягом всього робочого часу;

- прибрати з робочого місця предмети та обладнання, які не використовуються в цій роботі;
- не захаращувати проходи, звільнити прохід до електричних силових щитків, вчасно очищувати приміщення від відходів та сміття;
- використання індивідуальних засобів захисту від впливу механічних факторів.

Безпека роботи з електронним мікроскопом залежить від точності дотримання вимог з техніки безпеки, котрі запроектовані для цієї лабораторії та правильності експлуатації обладнання. Для проведення робіт на електронному мікроскопі необхідно одержати два дозвільні документи: Ліцензію на право ведення робіт з джерелом іонізаційного випромінювання в органах Держатомрегулювання України та Санітарний паспорт в Запорізькій обласній СЕС.

До робіт на електронному мікроскопі допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань. Співробітники, що працюють на електронному мікроскопі, належать до категорії А (персоналу). Вони проходять обов'язковий попередній медичний огляд при вступі до роботи, а також періодичні медичні огляди один раз на рік.

Персонал допускають до роботи на електронному мікроскопі після навчання і перевірки знань комісією, призначеною наказом керівника, один раз на рік.

Після тривалої перерви в роботі, перед тим, як ввімкнути прискорювальну напругу, провести відпompування колони на високий вакуум протягом 3-4 годин. Прискорювальну напругу збільшувати поступово, починаючи з мінімальної для конкретного приладу.

Юстирування електронного мікроскопу проводять тільки при відсутності забруднення у колоні і при мінімальному струмі електронного пучка. Профілактику мікроскопу проводити тільки під керівництвом наукового співробітника або інженера, який має право налагодження як мікроскопа в цілому, так і окремих його вузлів і систем.

При кожному, навіть незначному нещасному випадку (порізи, уколи, опіки, засолення очей тощо), необхідно негайно звернутися в медпункт та обов'язково доповісти про це керівнику групи або завідувачеві лабораторії.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Розгляньмо комплекс заходів щодо забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці в лабораторії.

Вимоги санітарії до параметрів повітряного середовища виробничих приміщень наводяться у ГОСТ 12.1.005-88 «Общесанитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Для нормальної роботи в лабораторії запроектовано підтримання оптимальних норм температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря, значення яких наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Оптимальні норми температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря у робочій зоні виробничих приміщень

Сезон року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість переміщення повітря, м/с
Холодний і перехідний період року	Легка, I	20-23	60 - 40	0,2
Теплий період року		22-25		

Параметри мікроклімату досягаються за рахунок раціонального планування виробничих приміщень і оптимального розміщення в них устаткування. У замкнутому приміщенні (30×24×4 м) для підтримування температури та вологості повітря на належному рівні пропонується

використовувати систему кондиціонування. Природна вентиляція (провітрювання), що відповідає вимогам СНиП 2.04.85-86 «Отопление, вентиляция, кондиционирование. Нормы проектирования».

Також передбачається проведення вологого прибирання в приміщенні.

Для створення сприятливих умов зорової роботи, без швидкої втомлюваності очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприятливих для підвищення продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення" (≥ 300 лк).

Для забезпечення нормованої освітленості пропонується використовувати систему загального рівномірного штучного освітлення з використанням ламп ЛД-60, які встановлені у світильники типу ЛСП. До функцій системи належить створення на робочій поверхні освітлення, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми:

- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частоті переадаптації органів зору;

- не створювати засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться у полі зору;

- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);

- має бути достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;

- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих чинників (шум, теплові випромінювання, небезпека ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);

- має бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

До заходів щодо пожежної профілактики належать організаційні (правильна експлуатація машин, утримання будівель, організація дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів з питань посилення пожежної безпеки тощо); технічні (дотримування протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при улаштуванні електроустаткування, опалення, вентиляції та ін.); експлуатаційні заходи (вчасні профілактичні огляди, ремонт та випробування обладнання); заходи режимного характеру - це заборона палити в невстановлених місцях, виконання зварювальних робіт.

Приміщення лабораторії електронної мікроскопії відповідно до СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования» є пожежонебезпечним і відноситься до категорії Д (виробництва, що переробляють негорючі матеріали в холодному стані). Для цієї категорії у разі, якщо допустима кількість поверхів не обмежується, ступінь вогнестійкості будівель - I і II, площа поверху між протипожежними стінами будівель не обмежується.

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений», передбачаються шляхи евакуації працівників у випадку пожежі (евакуаційні виходи). Для категорії виробництва Д, незалежно від об'єму приміщення, для I і II ступеню вогнестійкості будівель, відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується. Запроектовано використовувати обладнання, силові і освітлювальні мережі, котрі відповідають вимогам пожежної безпеки.

Навколишнє середовище в лабораторії - невибухонебезпечне (не містить значної кількості струмопровідного пилу, водяної пари, агресивних

газів та парів в концентраціях, які негативно впливають на обладнання, матеріали та ізоляцію).

Застосування автоматичних засобів пожежної сигналізації дозволяє сповістити персонал про пожежу і місце її виникнення. Пожежні оповіщувачі перетворюють неелектричні фізичні величини (випромінювання теплової і світлової енергії, рух частинок диму) в електричні, що у вигляді сигналу визначеної форми спрямовуються до прийомної станції.

Передбачено наявність в лабораторії одного порошкового вогнегасника типу ВП-5 (клас пожежі Д - пожежі металів та їх сплавів). Розташовується вогнегасник при вході у дослідницьку лабораторію. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати 70 м.

При виникненні пожежі в дослідницькій лабораторії необхідно: негайно викликати пожежну частину за телефоном (9-101), вжити заходи щодо евакуації співробітників, вимкнути обладнання від електромережі, вжити заходи щодо обмеження поширення пожежі, сповістити адміністрацію та керівника лабораторії, покинути небезпечну зону і взятися за ліквідацію пожежі первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, що розташовується при вході в лабораторію).

6.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Керівники об'єктів мають передбачити управління надзвичайними ситуаціями. Для гарантування безпеки людини в НС стратегія управління має включати здійснення трьох цілей:

- запобігання причинам виникнення;
- запобігання найекстремальніших ситуацій;

- пом'якшення, максимальне послаблення наслідків надзвичайних ситуацій.

Стратегія запобігання причинам виникнення надзвичайних ситуацій передбачає недопущення таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Ця стратегія здійснюється або відмовою від будівництва небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

Друга стратегія - запобігання самої НС - передбачає недопущення виходу небезпечного процесу з-під контролю шляхом використання надійних аварійних систем, сигналізації, автоматики та інших заходів з підвищення надійності і стійкості роботи підприємств, а також шляхом заходів превентивної евакуації.

Третя стратегія - пом'якшення наслідків - передбачає орієнтацію на ослаблення, локалізацію наслідків НС. Ця стратегія має пріоритет в управлінні стихійними лихами і ситуаціями «комбінованого» типу.

У практиці управління найбільший ефект дає спільне використання всіх трьох стратегій, особливо при аваріях техногенного характеру. Для реалізації кожної із стратегій управління необхідно розробляти і приймати комплекс превентивних та оперативних заходів.

Превентивні:

- аналіз і встановлення зовнішніх і внутрішніх причин, що ведуть до катастрофи;
- прогнозування вогнищ ураження, втрат і збитків на підприємстві;
- заходи з підвищення стійкості;
- обґрунтування сил і засобів для проведення дій з локалізації вогнищ ураження та пошуково-рятувальних робіт;
- навчання формувань і громадян способів захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;

- проведення всіх видів розвідки та оцінка обстановки;
- проведення екстрених захисних заходів (укриття в ЗС, евакуація, використання ЗІЗ);
- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;
- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- термінове постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних робіт.

При виникненні НС організовується надзвичайне управління, яке складається з чотирьох стадій ліквідації наслідків.

1. Стадія вживання екстрених заходів. Мета - задіяти механізм надзвичайного управління і вчасно зреагувати на НС. Основні завдання початкової стадії: встановлення факту НС, попередня оцінка обстановки в зоні лиха і масштабів наслідків, мобілізація і встановлення оперативних завдань органам надзвичайного управління, видання розпоряджень на залучення мобільних сил пожежної охорони, швидкої медичної допомоги, охорони громадського порядку та інших служб для допомоги постраждалим, сприяння місцевим органам влади в організації рятувальних робіт і локалізації зони лиха власними силами; інформування населення та вищих органів управління про НС та вжиті заходи. Тривалість початкової стадії - 1-10 годин.

2. Стадія оволодіння ситуацією та організації механізму надзвичайного управління в зоні лиха, у плануванні та проведенні рятувальної операції відповідного масштабу. Завдання: детально оцінити обстановку, терміново прийняти обґрунтоване рішення і уточнити план ліквідації наслідків НС; розрахувати необхідні сили і засоби, ресурси для всього комплексу робіт в зоні лиха, організувати чітку взаємодію всіх

залучених сил і аварійних служб. Тривалість другої стадії - від кількох годин до кількох діб.

3. Основна і визначальна стадія. Мета - перебороти надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, ліквідувати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімально необхідні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Завдання: розгортання в найкоротші терміни рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони лиха, надання допомоги потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах водо-, тепло-, газо-, електросистемах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів.

4. Стадія відновлення, тобто економічна, соціальна, культурна та екологічна реабілітація зони лиха. Органи надзвичайного управління вичерпали свою роль і передають функції постійної дії місцевим органам управління. Розробляється спеціальна програма з черговістю комплексу заходів з реабілітації зони лиха.

Отже, основними заходами безпеки при дослідженні є:

а) комплекс заходів для гарантування безпеки при виконанні робіт (згідно з ПУЕ-2011, ГОСТ 12.1.019-79, ДСТУ 3962-2000 та ГОСТ 12.4.137-2001):

- всі співробітники лабораторії мають мати 2-3 групу з електробезпеки;
- використання паралельного заземлення електричного обладнання, яке передбачається перевіряти не рідше ніж два рази на рік;
- використовувати ізоляцію проводів;
- перед початком роботи перевіряти справність приладів; до роботи приступати лише після усунення несправностей;

- тримати робоче місце в чистоті та порядку задля запобігання травмуванню.

- при роботі з реактивами використовувати захисний спецодяг (халат, рукавиці).

б) заходи з санітарно-гігієнічних умов праці (згідно з ГОСТ 12.1.005-88, СНиП 2.04.85-86, ДБН В. 2.5-28-2006):

- запроектовано підтримання оптимальних норм температури, відносної вологості і швидкості переміщення повітря в приміщенні лабораторії;

- запропоновано використовувати кондиціонування повітря та вентиляції - природня (провітрювання).

- зпроектовано підтримання оптимальних норм освітленості в приміщенні лабораторії;

в) заходи з протипожежної безпеки (відповідно до СНиП 2.09.02-85, СНиП 2.01.02-85):

- спроектовано наявність в лабораторії одного порошкового вогнегасника типу ВП-5. Розташовується вогнегасник при вході у дослідницьку лабораторію.

Під час проведення досліджень для збереження життя та здоров'я працівників лабораторії та наявного у приміщенні майна слід дотримуватися заходів безпеки і цим підвищити культуру виробництва, виключити отримання травм при роботі і зберегти життя та здоров'я працівників. Крім того, позбавити від небажаних економічних втрат

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз характеристик та особливостей експлуатації деталей автомобілів. Розглянуто основні матеріали для деталей машин, вплив легувальних елементів на їх структуру та властивості та основні методи термічної обробки для деталей машин.

2. Проведено детальний аналіз технологічних процесів цементації та нітроцементації, структурні перетворення в металах та можливі дефекти.

3. Порівняльний аналіз процесів цементації та нітроцементації за показниками температури та тривалості показали перевагу нітроцементації.

4. Дослідження зносостійкості трьохвалковим методом показало, що при випробуваннях з доданим навантаженням 50, 100 і 200 МПа протягом заданого часу випробувань (100 хв), більш низькі кількісні показники зносу мали зразки, нітроцементовані при температурі 870 °С протягом 4 годин. Підвищення питомого навантаження до 400 МПа призвело до збільшення швидкості зношування всіх нітроцементованих зразків. За 100 хв випробувань знос зразків сталі 20, нітроцементованих при температурі 870 °С протягом 4 год, склав 12 мкм, а зразків, нітроцементованих при температурі 820 °С протягом 2 год - 17 мкм. Наведені показники вищі за показники цементованих зразків.

5. По результатам випробувань на втомну міцність цементация забезпечила зростання границі витривалості до 400 МПа, в той час як високотемпературна нітроцементация знижувало його до 310 МПа. Границя

витривалості сталі до ХТО становила 320 МПа. Проведена після гартування, яка в деякому сенсі замінює високий відпуск, нітроцементация, привела до помітного підвищення границі витривалості сталі 30ХГТ до 460 МПа.

6. Дослідження мікроструктур сталі 30ХГТ після низькотемпературної нітроцементации показало, що максимальною втомною міцністю володіє нітроцементований шар з мартенситною структурою. Наявність азоту в дифузійному шарі призводить до того, що під коркою карбонітридів при охолодженні утворюється до 20% залишкового аустеніту, який і визначає високу витривалість сталі 30ХГТ.

7. Проведено аналіз особливостей технологічних процесів досліджуваних режимів хіміко-термічної обробки, що застосовуються на підприємстві. Розглянуто основні дефекти, що можуть виникнути в процесі ХТО. Показано основне обладнання, що застосовується на підприємствах.

8. Показано доцільність провадження технології нітроцементации замість цементации. Економічний ефект від проведеної роботи складає 2 гривні на одну гривню витрат.

9. Для збереження життя та здоров'я працівників лабораторії під час проведення досліджень були запропоновані заходи по забезпеченню техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, з пожежної безпеки та у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Иванов М.Н. Детали машин [текст] / М.: Высш. школа, 2000. - 383 с. - 6-е изд., перераб.
2. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя [текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
3. Волков Д.Р. Строительные машины [текст] / Д.Р. Волков. – М.: Высшая школа, 1988. – 319 с.
4. Решетов Д.Н. Машиностроение. Энциклопедия [текст] / Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 421 с.
5. Галахов М.А. Расчет подшипниковых узлов [текст] / М.А. Галахов, А.Н. Бурмистров. – М.: Машиностроение, 1988. – 212 с.
6. Глухарев Е.Г. Зубчатые соединения [текст] / Е.Г. Глухарев, Н.И. Зубарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 284 с.
7. Тарабасов Н.Д. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций [текст] / Н.Д. Тарабасов, П.Н. Учаев. – М.: Машиностроение, 1983. – 258 с.
8. Куклин Н.Г. Детали машин [текст] / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина. – Киев: Высшая школа, 1987. – 541 с.
9. Иосилевич Г.Б. Детали машин [текст] / Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
10. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов [текст] / В.Г. Сорокин. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
11. Башнин Ю.А. Технология термической обработки [текст] / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
12. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка стали [текст] / А.Н. Минкевич. – М.: Машгиз, 1950. – 417 с.
13. Натапов Б.С. Термическая обработка металлов [текст] / Б.С. Натапов. – Киев: Вища школа, 1980. – 282 с.

14. Лахтин Ю.М. Термическая обработка в машиностроении: справочник [текст] / Ю.М. Лахтин, А.Г. Рахштадт. – М.: Машиностроение, 1980. – 776 с.
15. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов [текст] / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 465 с.
16. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – М.: Машиностроение, 1976. – 310 с.
17. Сидорин И.И. Основы материаловедения [текст] / И.И. Сидорина. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
18. Рослякова Л.И. Диффузионные и кинетические процессы на поверхности стали при цементации [текст] / Л.И. Рослякова, И.Н. Росляков // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва, 2014. - № 4. – С. 32 - 33.
19. Новиков И.И. Теория термической обработки / И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1978. – 386 с.
20. Архипов И. Я. Повышение прочности зубьев цементованных и нитроцементованных колес [текст] / М.С. Полоцкий, А.Я. Новикова и др. // МиТОМ. – Москва, 1970. - № 10. - С. 56 - 61.
21. Б.Н. Арзамасов. Материаловедение [текст] / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.