

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз умов експлуатації та причин руйнування вальниць кочення зі
(назва теми)
сталі ШХ15 з метою розробки рекомендацій щодо підвищення ресурсу
останніх.

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФз-210сп

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

СПІВАК Тетяна Анатоліївна

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ЛИСИЦЯ Олена Володимирівна

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент СОТНІКОВ Євген Георгійович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
Кафедра Фізичне матеріалознавство
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри «Фізичне матеріалознавство»
Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ
« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
СПІВАК Тетяна Анатоліївна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз умов експлуатації та причин руйнування вальниць кочення зі сталі ШХ15 з метою розробки рекомендацій щодо підвищення ресурсу останніх.

керівник проєкту (роботи) ст.викладач ЛИСИЦЯ Олена Володимирівна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 08 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Ескіз вальниці, твердість 62-65 HRC, $\sigma_B=2550\text{МПа}$, $\sigma_{-1}\geq 800\text{МПа}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу.
2. Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення.
3. Характеристика матеріалів виробів.
4. Розробка режимів і технологій термічної обробки.
5. Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів.
6. Спеціальна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) 4 слайди

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	ЛИСИЦЯ О.В., ст. викладач		
н/к	ТКАЧ Д.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу	28 березня – 12 квітня	
2	Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення	13 квітня – 20 квітня	
3	Характеристика матеріалів виробів	21 квітня – 08 травня	
4	Розробка режимів і технологій термічної обробки	09 травня – 17 травня	
5	Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів	18 травня – 30 травня	
6	Спеціальна частина	31 травня – 08 червня	

Студент(ка) _____ Тетяна СПІВАК
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____ Олена ЛИСИЦЯ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 65с., 10 табл., 29 рис., 4 дод., 15 джерел.

ВАЛЬНИЦЯ КОЧЕННЯ, КУЛЬКА, РОЛИК, ВЛАСТИВОСТІ, ГАРТУВАННЯ, НИЗЬКОТЕМПЕРАТІРНИЙ ВІДПУСК, РУЙНУВАННЯ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ

Об'єкт розробки –вальниць кочення зі сталі ШХ15.

Мета роботи – Дослідити матеріал для виготовлення вальниць кочення, проаналізувати умови роботи та навантаження, що діють на деталі вальниць. Створити маршрутну технологію виготовлення деталі та розробити технологію її термічної обробки. Проаналізувати вплив режимів термічної обробки на механічні властивості матеріалу виробу. Визначити можливі дефекти при проведенні операцій термічної обробки, а також можливі заходи по їх попередженню та усуненню. Дослідити причини руйнування, які можуть виникнути в процесі експлуатації вальниць кочення зі сталі ШХ15 та способи їх запобігання.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	6
Вступ	7
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	8
1.1 Загальні відомості. Навантаження, напруження, температура, середовище експлуатації	8
1.2 Вимоги до матеріалів деталей вальниць	12
2 Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення виробів	15
2.1 Номенклатура виробів	15
2.2 Маршрутна технологія виготовлення тіл кочення вальниці	15
3 Характеристика матеріалів виробів	18
4 Розробка режимів та технологій термічної обробки	22
5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	34
6 Спеціальна частина	40
Висновки	53
Перелік джерел посилань	54
Додаток А Ескіз вальниці, номенклатура, хімічний склад та властивості сталі ШХ15	56
Додаток Б Технологічна карта та графік термічної обробки шариків вальниці зі сталі ШХ15	57
Додаток В Дефекти термічної обробки	58
Додаток Г Вплив температури відпуску на структуру, вантажопід'ємність та тривалість роботи вальниці, контактну витривалість, характеристики міцності	59

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

HRC – твердість за Роквелом;

σ_T , $\sigma_{0,2}$ – границі плинності;

σ_B – границя міцності;

δ_5 – відносне видовження;

ψ – відносне звуження;

A_3 , A_4 – температури поліморфного перетворення заліза;

л.е. – легувальні елементи;

ТО – термічна обробка;

$A_{\text{зал}}$ – аустеніт залишковий;

М – мартенсит.

ВСТУП

Вальниці кочення зі сталі ШХ15 є важливими компонентами в промислових механізмах, зокрема в обладнанні для виробництва та обробки металу. Процес експлуатації цих вальниць відбувається в умовах високого тиску, навантаження та тріщиноутворення, що може призводити до їх руйнування та передчасного втрачання ресурсу.

Метою даної дипломної роботи є аналіз умов експлуатації та визначення причин руйнування вальниць кочення зі сталі ШХ15 з метою розробки рекомендацій, спрямованих на підвищення їх ресурсу. Дослідження цієї проблеми має велике значення для підприємств, що займаються виробництвом та експлуатацією вальниць, оскільки вона дозволить виявити фактори, що призводять до руйнування цих елементів, і впровадити ефективні заходи для підвищення їх тривалості служби.

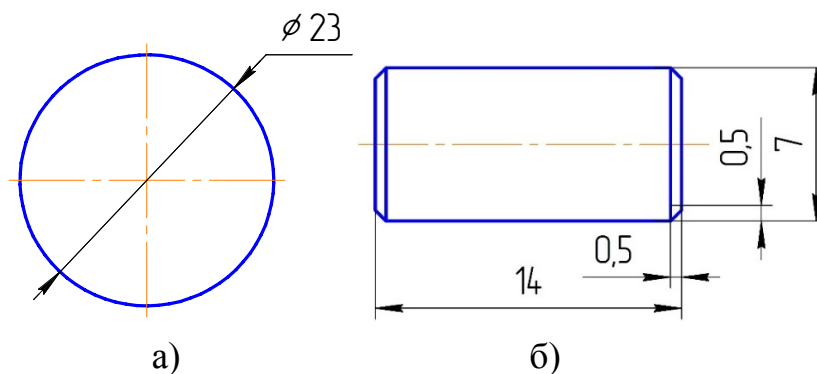
В рамках роботи буде проведений аналіз літературних джерел та наявних технічних даних щодо сталі ШХ15 та вальниць кочення, включаючи їх конструкцію, властивості матеріалу та умови експлуатації. Наступним кроком буде вивчення причин руйнування вальниць, зокрема тріщиноутворення, зносу та механічних пошкоджень, і встановлення зв'язку між цими факторами та умовами експлуатації.

Ця дипломна робота є актуальною та важливою в контексті вдосконалення технологічних процесів та підвищення ефективності виробництва. Вона спрямована на розв'язання практичних завдань, що стоять перед промисловими підприємствами, та відповідає сучасним тенденціям розвитку в області інженерії та матеріалознавства.

а – шариковий; б – роликовий

Рисунок 1.1 – Схема вальниць кочення[1]

Вальниця кочення сприймає обертові моменти від обертання валу, на якому він закріплений, значні радіальні навантаження та незначні осьові навантаження (радіальні, що діють у напрямку, перпендикулярному до осі вальниці, та осьові, що діють у напрямку, паралельному до осі вальниці). На рисунку 1.2 наведено ескізи деталей кочення – кульки (а), ролики (б).



а – кулька; б – ролик

Рисунок 1.2 – Деталі кочення [1]

Внаслідок дії значних радіальних навантажень у вальниць в місцях контакту тіла кочення (кульки, ролики) з внутрішнім і зовнішнім кільцем у матеріалі виникають значні контактні напруження. Ці напруження можуть досягати значення 1800МПа [2].

Оскільки в процесі експлуатації вальниця обертається з частотою до 200 c^{-1} [2], то напруження в точках контакту змінюється за віднульовим циклом (від максимального значення до нуля і від нуля до максимального значення).

На рис.1.3 зображено схему розподілу навантаження між точками контакту тіл кочення із зовнішнім кільцем вальниці.

Центральна кулька або ролик зазнає найбільшого навантаження, на нього діє навантаження в 4...6 разів більше за середнє, яке мало б місце, якби всі тіла кочення сприймали навантаження порівну.

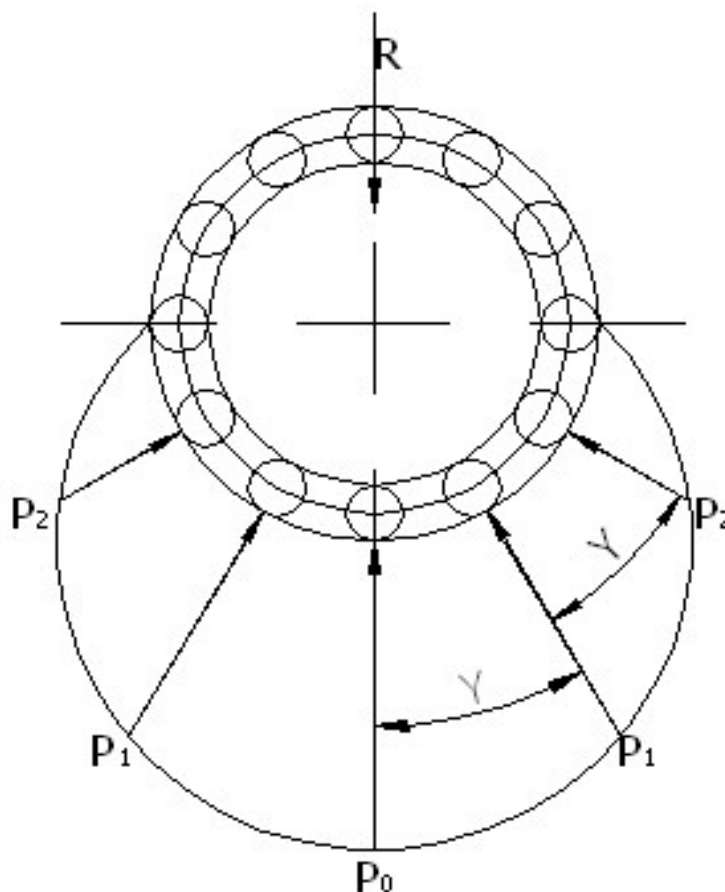


Рисунок 1.3 – Схема розподілу навантаження між точками контакту тіла кочення і кільцем вальниці[2]

На радіальну однорядну шарикову вальницю, окрім радіальних, діють також осьові навантаження вздовж осі валу в обох напрямках. Вони не перевищують 70% невикористаного допустимого радіального навантаження. Вальниця фіксує осьове положення валу в обох напрямках. Радіальна вальниця знайшла чимале використання в машинобудуванні. Він має кілька різновидів за конструктивними ознаками.

Самовстановлювальна дворядна сферична шарикова вальниця використовують у вузлах із нежорсткими валами, а також у конструкціях з

окремими опорами. Цявальниця може сприймати радіальне і незначне осьове навантаження.

Вальниця радіально-упорна може витримувати радіальні і осьові або тільки осьові навантаження. Якщо ці вальниці змонтувати попарно, то вони можуть сприймати осьові сили, що діють в обох напрямках. Оскільки шарикова радіально-упорна вальниця чутлива до перекосів осей кілець, то його використовують у вузлах тертя жорстких валів в умовах значного обертання. Осьова вантажопідйомність при цьому залежить від номінального кута контакту вальниці, який може дорівнювати 12° , 26° і 36° . Вальниці з великими кутами контакту (26° і 36°) призначені для значних осьових навантажень, що можуть перевищувати діюче радіальне навантаження[2].

Радіальна роликовавальниця з короткими циліндричними роликами сприймає значні радіальні навантаження. За швидкохідністю не поступається радіальній шариковій вальниці, а за вантажопідйомністю перевершує його в 1,5 рази [2]. Особливістю цієї вальниці є дотримання точності в співвідношенні посадкових поверхонь, оскільки кромочні тиски роликів, що можуть виникнути на доріжках кочення, суттєво знижують термін служби вальниці.

Вальниця з голчастим роликом порівняно з невеликими габаритними розмірами має високу радіальну вантажопідйомність. Осьове навантаження вальниця з голчастим роликом не сприймає. Вальниці дуже чутливі до прогинів валів і неспіввідношенні посадкових поверхонь. Голчасті вальниці можуть працювати без внутрішнього кільця, без зовнішнього кільця або з голками в сепараторі без обох кілець. У разі кочення голок безпосередньо по валу або корпусу твердість робочих поверхонь деталей має бути не нижчою за 60 HRC [2].

При експлуатації вальниці можуть розігріватися до температур $100\ldots150^\circ\text{C}$ і при цьому повинні зберігати твердість поверхні на рівні 61...63 HRC [1].

Матеріал деталей вальниць може зазнавати дії як пружної (внутрішнє тертя матеріалу) так і пластичної (згладжування мікронерівностей поверхні деталей вальниць) деформації. Під час цих видів деформації може виділятися тепло, яке сприяє місцевій адсорбції та дифузії кисню з повітря або з змащувальних матеріалів у поверхневі шари. Окислення (корозія) поверхневого шару може бути джерелом і причиною його викришування. Хімічна реакція взаємодії з оливою може прискорювати цей процес або призупиняти.

1.2 Вимоги до матеріалів деталей вальниць

Робота вальниць супроводжується значними локальними навантаженнями, тому висуваються високі вимоги до чистоти сталі за неметалевими включеннями, карбідною неоднорідністю тощо.

Основні вимоги, що повинні забезпечити матеріали з яких виготовляють вальниці[3]:

- висока статична вантажопідйомність – граничне навантаження, при якому залишкові деформації в зоні контакту не більше 0,01% від діаметра кульки або ролика. Тиск в зоні контакту під час роботи вальниці може досягати до 2000...4000 МПа, тому необхідна статична вантажопідйомність повинна бути значною. Це досягається при використанні для виготовлення вальниць в якості матеріалу заєвтектоїдних легованих хромом сталей, що оброблені на високу твердість;

- високий опір контактній втомі. Залежить від наявності металургійних дефектів, особливо сульфідних і оксидних включень, а також водню, оскільки вальницевої сталі флокеночутливі. На рис. 1.4 наведено залежність довговічності вальниць від кількості оксидів в одному й тому самому перерізі, а на рис. 1.5 – залежність контактної витривалості від вмісту водню

в вальницевих сталях. Зменшити забруднення сталі на металеві включення можна за допомогою використання рафінуючих переплавів.

Якщо прийняти за 100% вміст включення в сталі ШХ15 відкритої виплавки, то в сталі, обробленої синтетичним шлаком (ШХ15Ш), він становить 45 %, для тієї самої сталі вакуумно-дугової виплавки (ШХ15ВД) – 35%, а для сталі, обробленої шлаком і додатково переплавленої вакуумно-дуговим способом (ШХ15ШД) – 25%. При цьому наявні включення більш рівномірно розподілені в об'ємі зливка, зменшується і середній розмір включень.

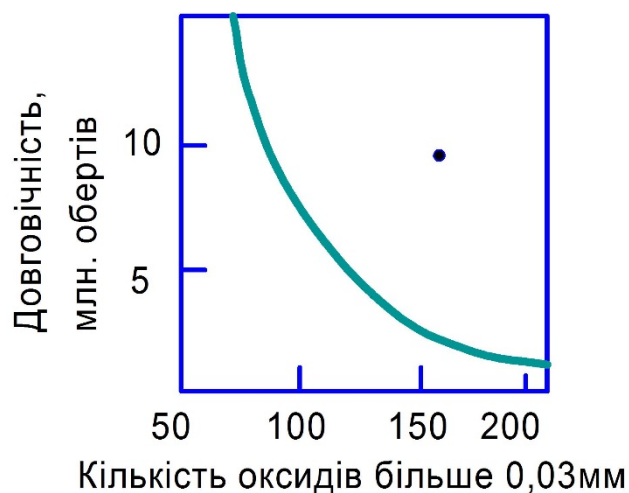


Рисунок 1.4 – Залежність довговічності вальниць від ступеня забрудненості сталі оксидами понад 30 мкм [3]

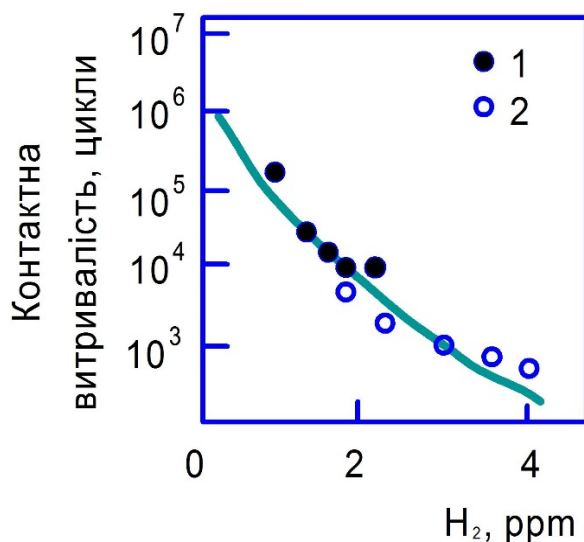


Рисунок 1.5 – Залежність контактної витривалості від вмісту водню в вальницевих сталях типу ШХ15[3]

Крім того, контактну втому погіршує карбідна неоднорідність (карбідна сітка, строчечні включення карбідів тощо). Запобігти цьому можна використанням оптимальної пластичної та термічної обробки.

- зносостійкість, зокрема абразивна, досягається введенням у сталь - 1,0 %C і 1,5 %Cr. Вплив хрому на зносостійкість визначається тим, що він збільшує кількість карбідної фази і змінює якісно її склад, при цьому дає змогу отримувати тверді спеціальні карбіди;

- високий опір малим пластичним деформаціям. Висувається до вальниць точних приладів;

- розмірна стабільність. Залежно від розмірів і класу точності вальниць зміни розмірів під час експлуатації не повинні перевищувати $10^{-4} \dots 10^{-5}$ мм/мм. Розмірна стабільність залежить від вмісту залишкового аустеніту в сталі. При збільшенні кількості залишкового аустеніту розмірна стабільність погіршується, тому що він є нестабільною структурною складовою і при значних навантаженнях може перетворюватися на мартенсит, що призводить до об'ємних змін.

- корозійна стійкість.

В роботі розглядаються шарики та ролики вальниць виготовлені із сталі ШХ15, що експлуатуються при звичайних температурах та не використовуються в агресивному середовищі.

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ І МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

2.1 Номенклатура виробів

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому відділенні. У відділенні термічної обробки проходять термічну обробку тіла кочення різного призначення. Ескіз деталей наведено на рис. 1.2. У табл. 2.1 наведено номенклатуру оброблюваних деталей у відділенні. Для роликів D_p – діаметр ролика, L_p – довжина ролика; для шариків $D_{ш}$ – діаметр шарика, B – ширина вальниці, d – внутрішній діаметр вальниці, D – зовнішній діаметр вальниці.

Таблиця 2.1 – Номенклатура виробів (ДСТУ ГОСТ 520:2014) [4]

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу кг	Розміри виробу, мм					Вимоги до матеріалу
			B	d	D	D _p ×L _p	D _ш	
Вальниці загального призначення								
Ролики	ШХ15	0,0055	9,8	8,0	11,0	3×5	—	HRC 61...63
		0,0139	12,0	5,0	15,0	8×10	—	HRC 61...63
Шарики	ШХ15	0,0282	6,0	7,0	19,0	—	3,969	HRC 61...63
		0,04	10,0	17,0	35,0	—	4,763	HRC 61...63

2.2 Маршрутна технологія виготовлення тіл кочення вальниць

Маршрутна технологія являє собою рух виробів по цехах і відділеннях заводу із зазначенням операції, яка там виконується. Операції можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими і забезпечувати отримання різної форми, розмірів, структури в процесі виготовлення. Маршрутна технологія може включати десятки і сотні операцій залежно від матеріалу і геометрії виробу і в її формуванні беруть участь фахівці всіх цехів, у яких обробляються деталі та інструменти. У табл. 1.2 наведено маршрутні технології виготовлення тіл кочення.

Таблиця 2.2 – Схема маршрутної технології виготовлення тіл кочення вальниць

№ операції	Назва операції	Цех (дільниця), у якому виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех або заготівельне відділення ковальського цеху	Контроль хімічного складу і мікроструктури матеріалу на відповідність технологічним умовам на поставку
2	Заготівельна	Заготівельний цех або заготівельне відділення ковальського цеху	Отримання заготовки прутка ³
3	Штапування	Ковальський цех	Штапування тіл кочення з отриманих заготовок ³

4	Попереднє термічне оброблення	Термічне відділення ковальського цеху	Структурна перекристалізація з метою дроблення зерна, зменшення твердості, підготовки макроструктури до наступної механічної та термічної обробок (відпал)
---	-------------------------------------	---	--

Кінець таблиці 2.2

1	2	3	4
5	Механічна обробка	Механічний цех	Надання деталям необхідної форми та розмірів
6	Основна термічна обробка	Термічне відділення механічного цеху	Надання матеріалу необхідної структури і механічних властивостей в умовах збереження геометричних характеристик, заданих кресленням (гарт + відпуск)
7	Механічне оброблення	Механічний цех	Надання необхідної шорсткості поверхні
8	Додаткове термічне оброблення	Термічне відділення механічного цеху	Зменшення рівня залишкових напружень, які створені шліфуванням (низькотемпературний відпуск)

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

Для виготовлення тіл кочення вальниць використана конструкційна вальницева сталь марки ШХ15(хімічний склад наведено в табл. 1.3).

Таблиця 3.1 – Хімічний склад вальницевих сталей (ДСТУ ISO 683-17:2008)[5]

Марка сталі	Легувальний елемент, % (мас)							
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
					не більше			
ШХ15	0,95... 1,05	0,17... 0,37	0,20... 0,40	1,3... 1,65	0,02	0,027	0,30	0,25

Сталь ШХ15 у відпаленому стані відноситься до заевтектоїдних сталей (структура П + К_{II}), в нормалізованому стані – до перлітного класу. Основним легувальним елементом сталі є хром. Легувальні елементи в сталі типу ШХ розчиняються в твердому розчині (Ф, А), утворюючи твердий розчин заміщення, а також входять до складу цементиту ((Fe,M)₃ C), утворюючи легований цементит. Хром і марганець, перебуваючи в сталях у невеликій концентрації, самостійних карбідів не утворюють.

Хром, марганець належать до елементів карбідоутворювачів, кремній належить до елементів графітоутворювачів. Хром, марганець і кремній згідно з рис. 3.1 зсувають С-подібні криві вправо, тобто збільшують стійкість переохолодженого аустеніту, що дає змогу знизити швидкість охолодження. Водночас хром розділяє С-подібну криву на дві області – область перлітного і бейнітного перетворення. Причому стійкість аустеніту в бейнітній області менша, ніж в перлітній. Це необхідно враховувати при виборі охолоджуючого середовища для гартування.

На рис. 3.1 представлено ізотермічну діаграму перетворення переохолодженого аустеніту в сталі ШХ15.

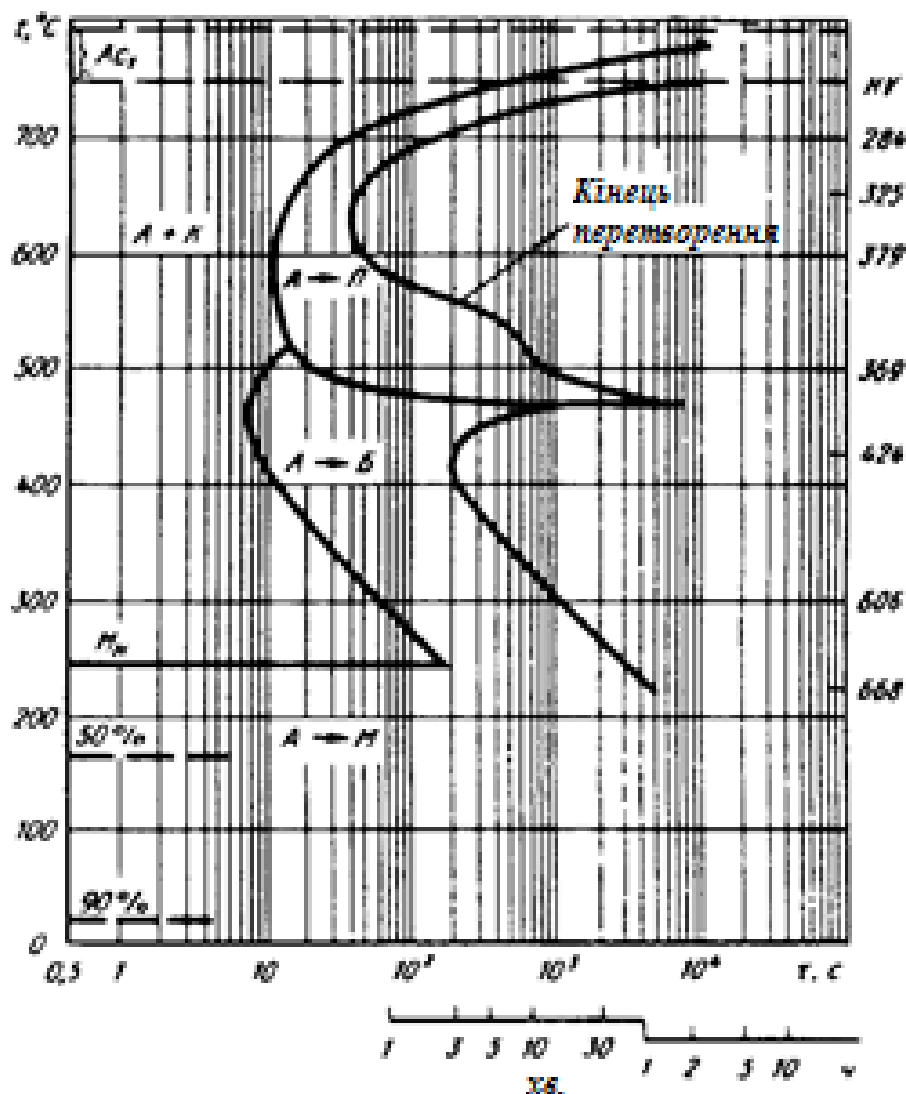


Рисунок 3.1 – Ізотермічна діаграма перетворення переохолодженого аустеніту в сталі ШХ15[6]

Мінімальна стійкість аустеніту переохолодженого для сталі ШХ15 становить $\sim 7\text{с}$ за ізотермічною діаграмою..

Використовуючи діаграму ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту для сталей ШХ15 розрахуємо критичну

швидкість охолодження за формулою (3.1) (мінімальну швидкість для одержання мартенситної структури без проміжних перетворень) [7]

$$, \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с} \quad (3.1)$$

де $t_{\text{н}}$ – температура нагріву (860°C , рис.3.1);

t_{min} – температура мінімальної стійкості переохолодженого аустеніту (460°C , рис.3.1);

τ_{min} – мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту (7 с, рис.3.1);

1,5 – коефіцієнт, що враховує похибку розрахунків за ізотермічною діаграмою.

Критична швидкість охолодження за формулою 3.1:

Вище наведені розрахунки доводять, що для зменшення гартівних напружень та деформації виробів в якості охолоджуючого середовища з температури гартування можна використати оливу, швидкість охолодження в якій становить $50 \dots 60^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Крім того, хром як легувальний елемент дещо зменшує схильність до перегріву, збільшує прогартовуваність, підвищує температури критичних точок, при вмісті до 1,5% пластичність не зменшує, підвищує міцність і твердість, незначно підвищує схильність до відпускнуї крихкості.

Хром та кремній відносяться до елементів феритостабілізаторів, що підвищують температуру точок A_1 та A_3 , але знижують температуру точки A_4 . В табл. 3.2 наведено значення критичних точок сталі ШХ15, а у табл. 3.3

наводяться типові технології термічної обробки і механічні властивості після зазначеної термічної обробки.

Марганець – збільшує схильність до перегріву, збільшує прогартуваність, знижує температури критичних точок (як аустенітостабілізатор), підвищує твердість і міцність, за вмісту понад 1,5% підвищує схильність до відпускнуї крихкості.

Таблиця 3.2 – Температура критичних точок вальничевої сталі ШХ15, °C [8]

Марка матеріалу	A_{c1}	A_{cm}	A_{r1}	A_{rm}	M_n
ШХ15	724	900	700	713	210

Таблиця 3.3 – Режими термічної обробки та основні механічні властивості вальничевої сталі ШХ15[8]

Марка сталі	Оптимальна ТО	Механічні властивості (не менше)				
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	KCU, Дж/см ²	HRC (HB)	σ_{-1} , МПа
1	2	3	4	5	6	7
ШХ15	Відпал, 800°C, піч до 730°C, потім до 650°C зі швидкістю 10-20°C/год, повітря	590...730	370...410	44	(179...207)	333(N=1·10 ⁶)

Гартування 810-820°C, вода до 200°C, потім олія + Відпуск 150°C, повітря	2160	1670	5	62...65	804 ($N=1 \cdot 10^6$)
---	------	------	---	---------	-----------------------------

Кремній – мало впливає на схильність до перегріву, збільшує прогартовуваність, підвищує міцність і твердість, знижує пластичність, збільшує знеуглецювання.

При аналізі даних таблиці режимів термічної обробки та основних механічних властивостей сталі ШХ15, можна зробити висновок, що вимоги щодо твердості, зносостійкості, міцності виконуються після термічної обробки, яка полягає у проведенні гартування і низькотемпературного відпуску.

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Технологія термічної обробки виробів - це складова частина технологічного процесу виробництва виробу, яка забезпечує отримання заданої структури, механічних, експлуатаційних властивостей, якість виробів.

Основними технологічними операціями термічної обробки тіл кочення (кульок і роликів), виготовлених зі сталей ШХ4, ШХ15СГ, ШХ15, є гартування і низькотемпературний відпуск. Ескізи тіл кочення представлені на рис. 1.2.

Допоміжною операцією є очищення деталей від мастила та інших забруднень - промивання виробів у мийних машин. Промивання виробів проводять у 3-10 % розчині кальцинованої соди. Температура розчину має становити 80-90°C[9].

Основними операціями термічної обробки тіл кочення зі сталей ШХ15 є гартування і відпуск. Гартування проводять з метою отримання структури мартенситу в сталях з високим рівнем твердості. Недолік гартування вальницьових сталей – це утворення значної кількості залишкового аустеніту, який при малих кількостях впливає позитивно на пластичність матеріалу (5...10%), а при більших має негативний вплив на розмірну стабільність тіл кочення. Відпуск для сталей ШХ15 проводять при температурах 150...170°C з метою зняття залишкових напружень, зменшення тетрагональності мартенситу.

Вибираючи температуру гартування сталі ШХ15 слід враховувати кількість залишкового аустеніту, оскільки при експлуатації він може перетворитися на мартенсит, що приведе до зміни об'єму. На рис. 4.1 наведено залежності кількості аустеніту залишкового від різних

температурах гартування та температур, до яких охолоджується сталь після гартування.

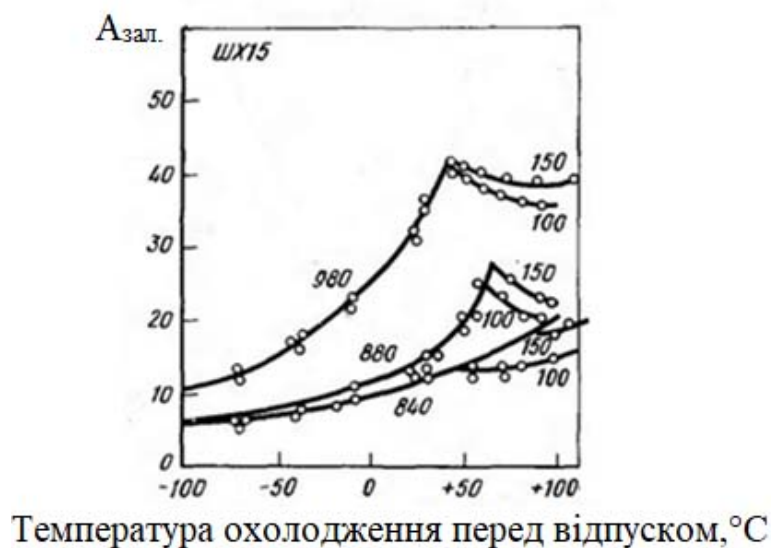


Рисунок 4.1 – Вплив температури аустенізації (840...980 $^{\circ}\text{C}$), охолодження перед відпуском та відпуску (100 і 150 $^{\circ}\text{C}$) на вміст аустеніту залишкового (%) в сталях [3]

Як видно з рис. 4.1 при температурі гартування 840 $^{\circ}\text{C}$ (охолодженні до кімнатної температури) і відпуску при 150 $^{\circ}\text{C}$ утворюється 15...20% аустеніту. Для вальниць кочення це вже багато. Щоб знизити цю кількість, необхідно або проводити обробку холодом (що викликає додаткові матеріальні витрати при обладнанні термічного відділення), або можна знизити температуру гартування до 830 $^{\circ}\text{C}$ з подальшим відпуском при 150 $^{\circ}\text{C}$.

Основними завданнями відпуску вальницевих сталей після гартування є зменшення тетрагональності мартенситу, зниження залишкових напружень, внутрішніх напружень, без істотного зменшення твердості та без інтенсивного розпаду залишкового аустеніту, що супроводжуватиметься зменшенням в'язкості. В табл. 4.1 на прикладі загартованих виробів зі сталі ШХ15 показано вплив температури відпуску на залишкові напруження. Зі збільшенням температури відпуску істотно знижуються залишкові

напруження, але водночас відбувається розпад мартенситу на ферито-карбідну суміш зі зміною форми та розмірів карбідів. Тому оптимальною температурою відпуску є 150°C, коли залишкові напруження зменшуються на 30...40 %, але при цьому не відбувається істотних змін у структурі сталі.

Таблиця 4.1 – Вплив температури відпуску на залишкові напруження в загартованих виробах зі сталі ШХ15[2]

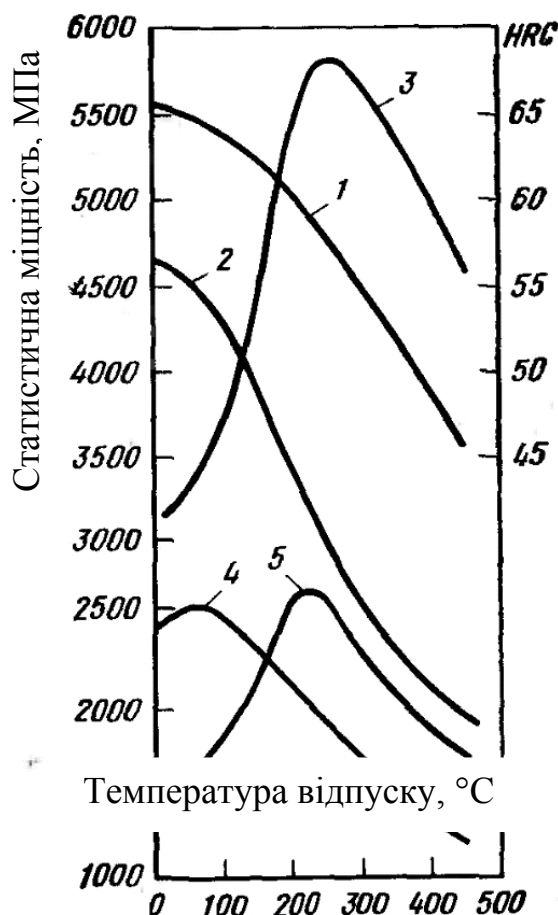
Температура відпуску, °C	σ_B , МПа, на відстані від поверхні, мм						Відстань нейтральної точки ¹ від поверхні, мм
	0,05	0,175	0,475	0,625	0,916	2,125	
Без відпуску	108	133	89	92	31	-57	1,75
150	70	91	96	66	14	-52	1,2
250	62	49	31	23	8	-25	1,0
500	2	0	0	0	0	-5	-
Примітка. 1. Нейтральна точка – точка, в якій залишкові напруження дорівнюють 0.							

На рис. 4.2 наведено криві механічних властивостей для сталі ШХ15 залежно від температури відпуску.

При аналізі даних табл. 4.1 і рис. 4.2, можна обґрунтовано сказати, що температура 150...170°C є оптимальною для сталі ШХ15СГ і з погляду зниження внутрішніх напружень і збереження високих показників механічних властивостей.

Для досягнення оптимальних характеристик за всім перерізом виробів необхідно знати рівень прогартуваності (тобто на яку глибину при гартуванні можна отримати мартенситну або троостомартенситну

структуру), рис. 4.3. Данні рисунку підтверджують, що ролики та шарики при охолодженні в оліві прогартовуються наскрізно.



1 – твердість; 2 – локальне стиснення; 3 – згин; 4 – крутіння; 5 – розтяг

Рисунок 4.2 – Комплекс механічних властивостей сталі 3X15
залежно від температури відпуску[8]

Після термічної обробки структура сталі 3X15 має складатися з дрібногочастого мартенситу, карбідів вторинних і залишкового аустеніту до 10...12%.

Технологія термічної обробки для сталі 3X15 складається із гартування від температури 830°C у маслі, відпуску за температури 170°C.

Тіла кочення зі сталі ШХ15 перед надходженням до гартівної печі мають бути чистими і сухими без слідів масла та емульсії, а також без грубих дефектів поверхні (рисок, забоїн, вм'ятин, опіків, іржі).

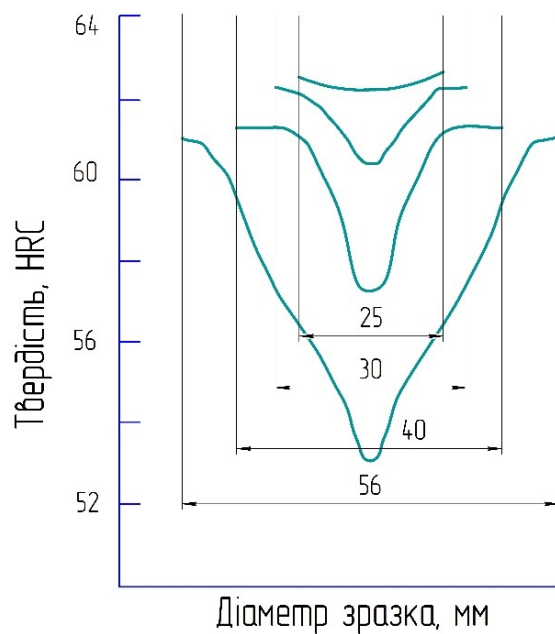


Рисунок 4.3 – Прогартовуваність сталі ШХ15 після гартування 840...850°C воливі (розподіл твердості за перерізом різного діаметра)[3]



Рисунок 4.4 – Структура сталі ШХ15 після термічної обробки, $\times 500$ [3]

Гартування кульок вальниць проводять в агрегаті з печами барабанного типу СБЗА-4.24/9 (гартівна піч), СБЗА-4.24/3 (піч для відпуску) [9].

Завдяки достатньої теплопровідності і пластичність вироби зі сталі ШХ15 можна нагрівати швидко, без утворення тріщин. Прискорений нагрів зменшує окислення і зневуглецювання деталей та збільшує продуктивність обладнання.

Температура нагріву $830 \pm 10^\circ\text{C}$ сталі ШХ15 під гартування повинна забезпечити:

- завершення перліто-аустенітного перетворення, розчинення карбідів в аустеніті та вміст вуглецю в аустеніті до 0,55...0,65 %;
- збереження відносно дрібного аустенітного зерна (9...10 бал);
- достатню однорідність аустеніту за вмістом вуглецю, що запобігає утворенню продуктів немартенситного перетворення в структурі загартованої сталі.

Кульки вальниць зі сталі ШХ15 для гартування нагрівають до температур $830 \pm 10^\circ\text{C}$.

При розрахунку загального часу перебування виробів в печі використовується формула 4.1 [9]:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_n + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{техн}} + \tau_{\text{зв}} \quad (4.1)$$

де τ_n — час нагрівання до заданої температури, хв;

$\tau_{\text{в}}$ — час витримки для вирівнювання температури по перетину виробу, хв;

$\tau_{\text{техн}}$ — час технологічної витримки для проходження необхідних процесів (насичення, виділення фаз, розчинення фаз тощо), хв;

$\tau_{\text{зв}}$ — час, необхідний для завантаження (вивантаження) виробів із печі, хв.

Розрахувати масу виробів, які можуть одночасно нагріватися в печі, можна через продуктивність печі. Згідно з довідковими даними [9] продуктивність печі СБЗА-4.24/9 становить 120 кг/год. Розрахуємо час

нагрівання і витримки під час гартування кульок у печі. Час перебування деталей при гартуванні розраховується за допомогою продуктивності печі. Продуктивність печі розраховується за формулою 4.2:

$$A = \frac{M_c}{\tau_{гг}} = 120, \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (4.2)$$

Масу садки (M_c) розраховуємо за формулою 4.3:

$$M_c = V_d \cdot \rho_n, \text{ кг} \quad (4.3)$$

де ρ_n – насипна щільність виробів ($\rho_n = 2000 \text{ кг/м}^3$, [11]);

V_d – об'єм завантажувальних деталей, м^3 .

Об'єм завантажувальних деталей розраховується за формулою 4.4:

$$V_d = 0,25 V_p, \text{ м}^3 \quad (4.4)$$

де V_p – об'єм реторти печі, м^3 .

Об'єм реторти печі розраховується за формулою 4.5:

$$V_p = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l, \text{ м}^3 \quad (4.5)$$

де d – діаметр реторти печі ($d = 0,4 \text{ м}$, [11]);

l – довжина реторти ($l = 2,4 \text{ м}$, [11]).

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} \cdot 2,4 = 0,3 \text{ м}^3$$

Об'єм завантажувальних деталей згідно формулі 4.4:

$$V_n = 0,25 \cdot 0,3 = 0,075 \text{ м}^3$$

Маса садка, розрахована за формулою 4.3 буде становити:

$$M = 0,075 \cdot 2000 = 150 \text{ кг}$$

Таким чином, загальний час на гартування, розрахований за формулою 4.2:

Використання захисних атмосфер при нагріванні до температури гартування деталей вальниць запобігає окисленню і зневуглецюванню поверхні деталей, зменшує припуски на остаточну обробку, скорочує або скасовує операцію шліфування кульок і роликів. Нагрівання деталей вальниць зі сталі ШХ15 в звичайній атмосфері приводить до зневуглецювання на глибину більше 0,2 мм, а концентрація вуглецю в поверхневому шарі зменшується до 0,3...0,5%. Для захисту від зневуглецювання в печі СБЗА застосовується ендогаз.

Для гартування кульок використовують мінеральну оливу марок МЗМ-16, И-12А, И-20А [9]. При нагріванні деталей у захисній атмосфері внаслідок відсутності зневуглецювання та окислення поверхні підвищується стійкість газової плівки, що уповільнює охолодження в інтервалі температур перлітного перетворення. Це призводить до появи в структурі загартованих деталей немартенситних складових (трооститних плям на поверхні деталей). Запобігає цьому використання індустріальних олив И-12А та И-20А з добавками 16...20 % високомолекулярних фракцій (C₂₀ і вище) синтетичних жирних кислот

(олива МЗМ-Б, що має підвищену охолоджувальну здатність в інтервалі температур перлітного перетворення сталі).

Присутність води в гартівній оливі не допускається. Всі мінеральні оливи перед використанням витримують при температурі 140...150°C впродовж 20...24 год. Контроль наявності води в гартівних баках проводять не рідше ніж двічі на тиждень, у разі виявлення води оливу або замінюють, або регенерують шляхом відстоювання при 70...90 °C.

Гартівна рідина повинна рівномірно та інтенсивно омивати поверхню деталей. Рівномірність можна забезпечити інтенсивним переміщенням деталей в гартівній рідині. Після гартування в оливі деталі вальниць промивають від залишків гартівної рідини.

Відпуск є остаточною операцією термічної обробки, що визначає якість готових деталей вальниць. Завдяки відпуску досягається підвищення в'язкості, розмірна і структурна стабільність деталей. Загартовані деталі відпускають відразу або не пізніше ніж через 3 години після гартування. Відпуск має забезпечити підвищення в'язкості сталі внаслідок зменшення тетрагональності мартенситу і внутрішніх напружень без інтенсивного розпаду залишкового аустеніту.

Відпуск для деталей вальниць проводять при температурі $170 \pm 10^\circ\text{C}$.

Кульки вальниць завантажуються в бункер печі СБЗА насипом. Розрахувати масу виробів, які можуть одночасно нагріватися в печі можна через продуктивність печі. Згідно з довідковими даними продуктивність печі (А) СБЗА-4.24/3 становить 60 кг/год. Оскільки розміри відпускної печі такі самі як і розміри гартівної печі, то час перебування деталей в печі не має бути меншим, ніж під час гартування. В літературному джерелі [12] зазначено, що час витримки деталей вальниць зі сталі ШХ15 в печі не має бути меншим ніж 2 години. Врахуємо час, необхідний для нагріву деталей, не менше 0,5 год [12], тоді загальний час перебування кульок в печі становитиме 2,5 години. В цьому випадку маса садки згідно формули 4.2 становитиме:

$$M_c = 60 \cdot 2,5 = 150 \text{ кг}$$

На рис.4.5 зображено графік термічної обробки кульок вальниць зі сталі ШХ15, у табл. 4.2 наведено карту термічної обробки кульок зі сталі ШХ15.

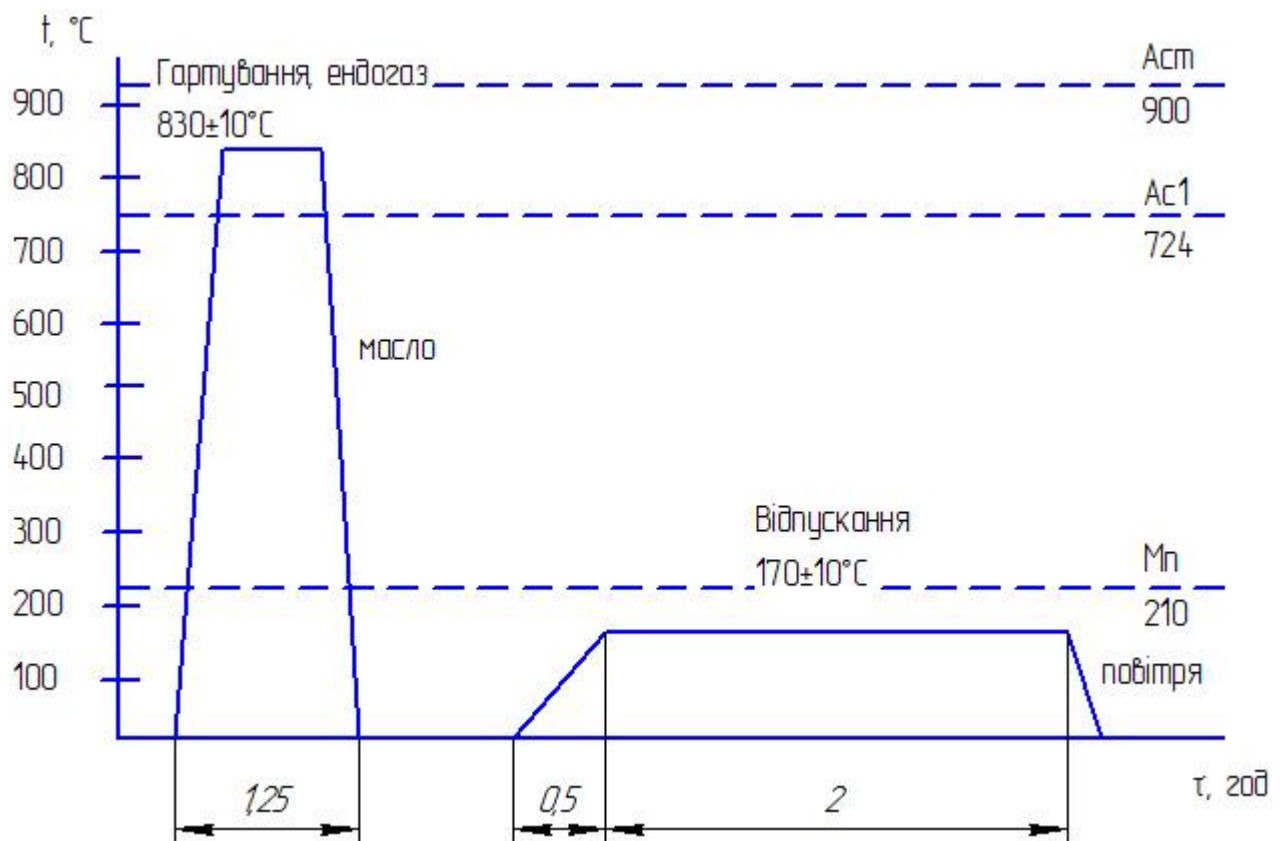
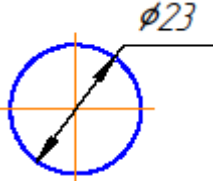


Рисунок 4.5 – Графік термічної обробки кульок вальниць зі сталі ШХ15

Таблиця 4.2 – Карта технологічного процесу термічної обробки кульок вальниць зі сталі ШХ15

Ескіз виробу			Технічні умови			
			Марка сталі	Твердість		Структура
			ШХ15	HRC 61...65		Дрібногострий мартенсит + 10...12% А _{зал} + Кп
1	2	3	4	5	6	7
№ операції	Назва операції	Обладнання	Режими роботи: температура, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища	Середовище обробки: температура, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища	Прокіслення: наскільки сильно окислюється поверхня	Умови роботи: температура, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, вимірювальний інструмент	—	—	—	5% від партії, відповідність хімічному складу сталі ШХ15СГ, лінійним розмірам
2	Гартування	СБЗА-4.24/9				
2.1	Нагрівання	СБЗА-4.24/9	830±10°C; 1,25 год; ендогаз	—	Насипом, 150кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища

Кінецьтаблиці 4.2

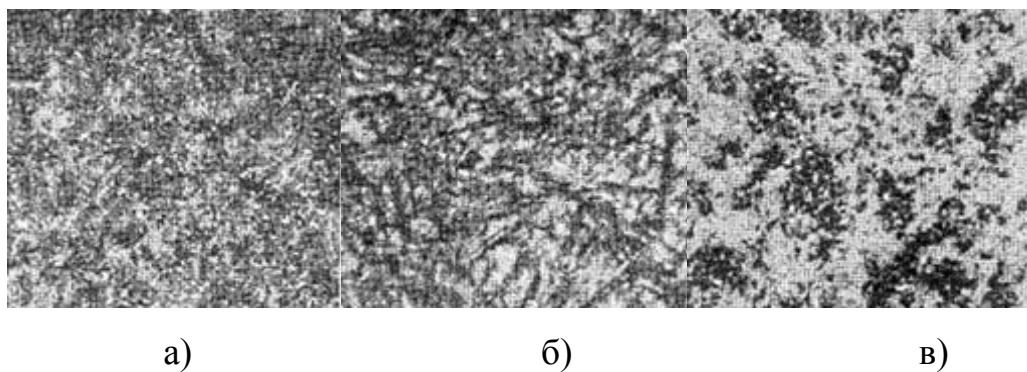
2.2	Витримка	СБЗА-4.24/9			Насипом, 150кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища
2.3	Охолодження	Гартівний бак (ЗББ-400)		Масло v_{ox} $=50^{\circ}C/c\tau_{ox}=1x$ в		Температура масла, рівень масла
3	Промивання	Мийна машина (ММК-400)		7% розчин кальцинованої соди, 80 -90°C		Температура розчину, рівень
3	Контроль	Твердомір ТК-2, мікроструктура				5% від партії, твердість HRC64...66
4	Відпускання	СБЗА- 4.24/3				
4.1	Нагрівання	СБЗА- 4.24/3	$170 \pm 10^{\circ} C$; $0,5 \pm 0,2$ год; повітря		Насипом, 150кг	Температура в печі
4.2	Витримка	СБЗА- 4.24/3	$170 \pm 10^{\circ} C$; $2 \pm 0,2$ ч; повітря		Насипом, 150кг	Температура в печі
4.3	Охолодження	стіл		Повітря $v_{ox} = 5^{\circ}C /$ $c\tau_{ox} = 10xв$		
5	Остаточний контроль	Твердомір ТК - 2, мікроскоп				5% від партії, твердість HRC 61...63, мікроструктуру

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

Контроль якості термічної обробки деталей підшипників полягає в першу чергу у вимірюванні твердості. Твердість кілець і тіл кочення різного розміру визначають на приладах Роквела і Супер-Роквела алмазним конусом при навантаженні 1500, 600 і 300 Н (150, 60 і 30 кгс). При вимірюваннях сферичних і циліндричних деталей похибку в показах приладів враховують за допомогою спеціальних поправок. Твердість дрібних кульок і роликів діаметром менше 2 мм вимірюють методом Віккерса.

Після остаточної термічної обробки твердість кульок і роликів зі сталі ШХ15 має бути в межах HRC 61...65.

Злам деталей контролюється для оцінки якості термічної обробки, виявлення перепалу під час кування і штампування. При проведенні правильного гартування злам матово-сірий, порцеляноподібний, шовковистий.



- а – після нормального гартування (прихованоголчастий мартенсит і карбіди);
б – після гартування з перегрівом (крупноголчастий мартенсит та карбіди);
в – після гартування з недогрівом (мартенсит, троостит і карбіди), $\times 500$

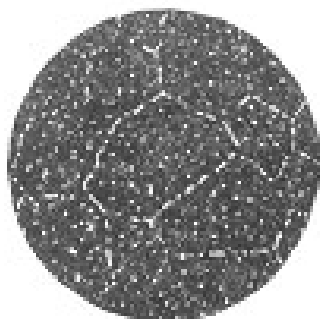
Рисунок 5.1 – Мікроструктура вальницевої сталі ШХ15[12]

Мікроструктуру перевіряють на оптичних мікроскопах при збільшенні у 500...600 разів і за задовільної термічної обробки вона повинна містити прихованокристалічний мартенсит і рівномірно розподілені надлишкові карбіди. Наявність трооститу свідчить про недостатнє нагрівання або інтенсивність охолодження. Перегрів виявляється при появі помітної голчастості мартенситу. Зображення мікроструктури сталі ШХ15 після гартування від оптимальної температури, від завищених температур і від занижених температур наведено на рис. 5.1.

При термічній обробці можливе виникнення таких недоліків, як карбідна неоднорідність – це може бути карбідна сітка, карбідна ліквація і структурна смугастість. Карбідна сітка – розташування карбідів у вигляді замкнутого або переривчастого контуру по межах зерна сталі (рис. 5.2, а) (може виникнути, наприклад, унаслідок повільного охолодження в перлітній ділянці).

Карбідна ліквація – смуги карбідів, що розташовуються за напрямком технологічної деформації металу, тобто вздовж волокна (рис. 5.2, б) (може виникнути, наприклад, за недостатньої витримки при температурі гартування або при низькій температурі гартування).

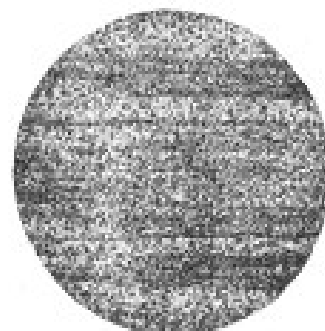
Структурна смугастість – темні та світлі смуги, що чергуються, орієнтовані за напрямком волокон (рис. 5.2, в) (може виникнути, наприклад, за умови недостатньої циркуляції охолоджувальної рідини під час гартування).



а)



б)



в)

а – карбідна сітка; б – карбідна ліквація; в – структурна смугастість

Рисунок 5.2 – Карбідна неоднорідність в сталі ШХ15, $\times 150$ [12]

Карбідна неоднорідність може зберегтися і після неякісно проведеної пластичної деформації. Наявність тріщин перевіряють на дефектоскопах (магнітних, люмінесцентних, ультразвукових тощо). Тріщини в деталях вальниці не допускаються.

Для проведення неруйнівного контролю якості термічного оброблення застосовують методи [2] вихрових струмів з амплітудно-фазовою обробкою сигналів перетворювача (прилад АНК-М1 для кілець після відпуску з автоматичним розсортуванням), метод вищих гармонік (прилад АТШ-М2 для кульок), метод вимірювання результуючого поля в деталях під час їхнього розміщення в електромагнітному полі (струмовихрвовий структуроскоп ТСК-2 для кілець) і т. д.

У табл. 5.1 наведені можливі дефекти при гартуванні та відпускувальницьких сталей.

Таблиця 5.1 – Дефекти, які можуть виникати під час гартування та відпуску

№	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Гартування				
1	Тріщина	1.1.Неметалеві включення та інші концентратори напружень; 1.2.завищена швидкість охолодження при гартуванні;	1.1.Проведення термічної обробки матеріалів виробів із грубими неметалевими включеннями; 1.2.використання оптимального гартівного середовища;	Дефект не виправний;

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
		1.3. завищена температура гартування;	1.3. дотримання оптимальної температури гарту, сходинкове охолодження.	
2	Понижена твердість	1. Занижена температура гарту; 2. Занижений час витримки при раціональних температурах; 3. Знеуглецювання; 4. охолодження зі швидкістю менше критичної;	1., 2. Термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу; 3. проведення гартування в захисному середовищі; вакуумі; 4. проведення охолодження у відповідному середовищі зі швидкістю вище критичної;	1., 2. нормалізація та відпал за раціональним режимом; 3. відпал, науглецювання реставраційне та повторне гартування в раціональному середовищі 4. Відпал і повторний гарт.
3	Крупне зерно	1. Перегрів (завищена температура гартування та час гартування);	1. Дотримання заданих температур і часу;	1. Відпал або високотемпературний відпуск і повторне гартування;

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5
4	Короблен- ня	1.Підвищена температура гартування; 2.Нераціональне розташування виробів в садці; 3.Використання невідповідного гартівного середовища.	1.Дотримання оптимальної температури гарту; 2.Дотримання схеми садки при її формуванні 3.Гартування у відповідному середовищі.	1. Нормалізація та повторне гартування 2, 3Необхідно використовувати гартування в заневоленому стані;
Відпуск				
1	Понижена твердість	1.Завищені температури та тривалість відпуску.	1. Дотримання технології.	1.Повторне ТО
2	Підвищена твердість	1. Недостатня тривалість відпуску	1. Проведення відпускання за параметрами, які передбачено технологією	1. Проведення відпуску (повторного) за технологією

Працюючи в умовах тертя кочення, вальниці зазнають циклічних навантажень. Тому необхідно контролювати не тільки точність розмірів, твердість та якість поверхні тіл кочення тавальниці в цілому, але і його міцність. До зниження міцності приводять такі дефекти: несучільності і неоднорідності матеріалу, що погіршують стійкість до втомного руйнування частин вальниць. Внаслідок цього, пильна увага приділяється робочим поверхням деталей вальниць- вони впливають на ефективність та надійність

ВСЬОГО

41
вузла.

6 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

В процесі експлуатації вальниць кочення кульки та ролики зазнають:

- вплив високих питомих навантажень змінного характеру, внаслідок чого в металі виникає явище втоми, зокрема розвивається контактне викришування;
- зношення від тертя;
- при контакті з атмосферою чи змащувальною рідиною, що містить домішки, виникає хімічне зношення;
- абразивного зношення;
- напружень від давильної дії навантаження.

Враховуючи вищенаведене, можна виділити основні види руйнувань деталей вальниць та причини їх виникнення.

Втомне викришування (розшарування) вальниць(рис.6.1). Розшарування вальниць – природна причина руйнування вальниць, що правильно змонтовані та експлуатуються у відповідних умовах. Якщо тиск у точці контакту деталей вальниць не перевищує 2000 Н/мм, то вальниці мають термін служби, що залежить від якості змащування та від чистоти[13]. Робочий тиск при експлуатації між елементами кочення і кільцями зазвичай становить від 3000 до 3500 Н/мм і втомні ушкодження вальниць, чергуючись із напруженнями на зсув, призводять до розшарування металу.



а)



б)

а – кульки, б – внутрішнє кільце

Рисунок 6.1 – Втомне руйнування [13]

Накопичення втоми в матеріалі приводить до появи шорсткості на поверхні доріжки, вальниця починає шуміти і надмірно нагріватися. Негативно впливають на втому вальниць неметалеві включення в сталі: нерозчинні карбіди; оксиди і сполуки сірки, шлаки, що потрапили в метал при плавці.

Викришування – це тривалий процес, що прискорюється після появи перших тріщин. Порушення при монтажі вузла тертя, перевантаження, дефекти валу, невідповідність розмірів та геометрії посадкового гнізда приводять до локалізованого і передчасного викришування. Постійні перевантаження, погано оброблені та забруднені поверхні приводять до втоми матеріалу. Цьому можезапобігти або суттєво загальмуватичистота поверхні деталей вальниць та гарне змащення. Також використання різних способів переплаву сталей для очищення від домішок, що усуває небезпеку утворення неметалевих включень.

Викришування поверхні (рис. 6.2) подібне до втоми поверхні, але супроводжується більшсуттєвим пошкодженнямвальниць і вказує на те, що вальниця вичерпала свій ресурс втоми. Внутрішні глибокі тріщини, центрами зародження яких є неметалеві включення, виходять на поверхню та приводять до розтріскування та відколу поверхонь.



а)



б)

а – внутрішнє кільце, б – ролики

Рисунок 6.2 – Викришування [13]

Причинами передчасного розтріскування є умови, що спричиняють занадто високі циклічні напруження: незадовільна посадка вальниць на валу, викривлення корпусу і неправильна установка вальниць.

При деформації вальниць можна спостерігати відбитки: сліди ударів, тріщини, розтріскування поверхні. Що може бути пов'язано з порушеннями при зборці вальниць: випадкове падіння вальниць, монтаж вальниць з нанесенням ударів або з докладанням зусиль безпосередньо до елементів кочення. А також перевантаженням вальниць.

В деяких випадках на поверхні кілець внаслідок перенавантаження та пластичної деформації сталі виникають регулярні, одна за одною виїмки (рис. 6.3). Цей дефект називається бринелювання. Причини його появи: суттєві статичні або ударні навантаження; неправильна технологія установки вальниць; значні механічні удари при падінні. Використовуючи при установці вальниць тиск замість ударів можна запобігти появі бринелювання. Якщо при установці або в процесі експлуатації ударних навантажень неможливо уникнути, то необхідно використовувати вальниці, що можуть витримати більші навантаження.

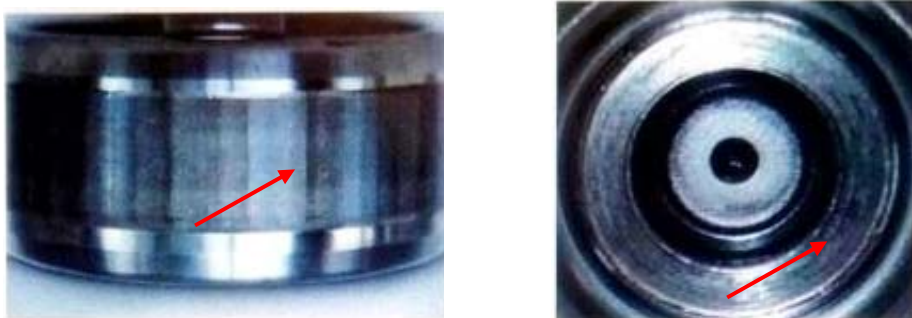


Рисунок 6.3 – Бринелювання [13]

Псевдобринелювання (рис. 6.4), як і бринелювання, супроводжується утворенням виїмок на доріжках кочення. Але його особливістю є те, що в зонах пластичних деформацій виїмки характеризуються не тільки продавлюванням металу, а й його зміщенням. Тому пошкодження важко побачити навіть при

ретельному огляді. Псевдобриннілювання виникає внаслідок сильних вібрацій непрацюючої машини. Наприклад, при транспортуванні. Або викликано вібрацією від інших розташованих поряд машин. Появі псевдобриннілюванню запобігають забезпеченням належного кріплення валу з вальницями при транспортуванні та ізолюванням обладнання від вібруючих агрегатів, що розташовані поруч.



а – кільце внутрішнє; б – ролики

Рисунок 6.4 – Псевдобринелювання [13]

Забруднення вальниць при монтажі або потрапляння випадкових домішок призводить до дефекту, що називають інкрустація чужорідних частинок. Він має вигляд відбитків, поздовжніх безперервних або переривчастих борозенок на шліфованій поверхні кілець вальниць. Супроводжується ненормальним люфтом, перекосом, вібрацією. В залежності від виду частинки виділяють: неглибокі та малопомітні сліди, що залишають непружні частинки; відносно глибокі кратери з виступаючими краями, якщо частинки тверді; багаточисленні дрібні відбитки з гострими краями, коли присутні крихкі частинки, що руйнуються від напруження стиснення.

Тіла кочення при обертанні захоплюють сторонні частинки, що потрапляють у вальницю. Внаслідок пластичної деформації виникає пошкодження поверхні (подряпини, стирання дрібними сторонніми

частинками). Такий дефект називають вибоїни поверхні. Він нагадує бріннелювання. Частинки, що потрапили на доріжку кочення, залишають по собі риси. Риски будуть концентратами напруження і розриву масляної плівки, що призводить до втоми, викришування металу і появи вибоїни. Запобігає появі дефекту: використання цупких ущільнень та гарне змащування вальниці.

Корозія вальниць супроводжується появою плям від червоного до чорного кольору та відшаруванням металу. Виділяють корозію хімічну (окислене мастило і агресивні продукти, що потрапили через дефектний ущільнювач) та електрохімічну внаслідок потрапляння у вальницю води чи конденсату.

Атмосферна корозія (рис. 6.5) виникає при потраплянні вологого повітря з атмосфери в середину вальниці. Охолодження навколишнього середовища призводить до конденсації вологи та розриву масляної плівки в місцях контакту тіл з доріжками кочення. Використання сальників, консистентного мастилота добре змащування вальниці запобігає появі цього виду корозії.



Рисунок 6.5 – Атмосферна корозія [13]

В місцях посадки вальниці на вал, а також на суміжних поверхнях виникає фретинг-корозія (рис. 6.6). Вона викликана незначними (мікроскопічними) навантаженнями. Внаслідок зношування утворюються ділянки чорного, якщо повітря відсутнє, або червоного кольору, якщо повітря присутнє. Фретинг-корозія може призводити до послаблення посадки внутрішнього кільця вальниці на валу та до його заклинювання, до розламування кільця. Щоб не допустити появу цього дефекту необхідно

дотримуватись рекомендацій виробника на допуски та дотримуватись оптимальної зборки елементів вальниць.

Найкращий спосіб захистити вальниця від корозії – це використання належного мастила. Інколи краще виготовити вальниці з корозійностійкої сталі, кераміки тощо.

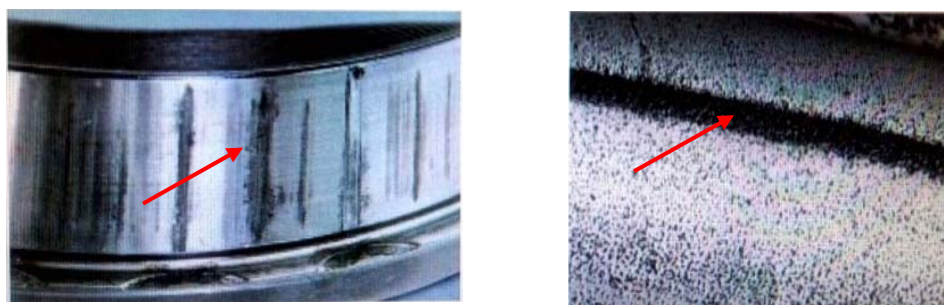


Рисунок 6.6 – Фретинг-корозія [13]

До фретинг-корозії та викришування може призводити неспіввісність кілець. Неспіввісність викликає перенавантаження, втому та руйнування.

Внаслідок проходження через вальницю електричного струму виникають електропошкодження (точковий піттинг або зварювання), рис.6.7. Такі пошкодження часто зустрічаються на поверхнях елементів і на доріжці кочення. Електричний струм може призводити і до викришування. Причина появи електропошкоджень: статична електрика. Тому обладнання та машини необхідно заземлювати.

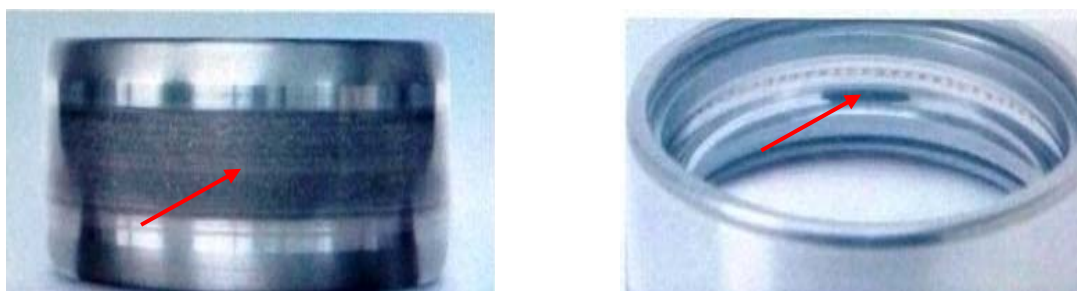


Рисунок 6.7 – Електропошкодження [13]

Надмірні напруження, що виникають при монтажі або демонтажі вальниць або тріщини при механічній та термічній обробці призводять до появи дефекту, що називають надривом. Це вузькі розриви або інші початкові стадії розтріскування.

При експлуатації в абразивному середовищі та при незадовільному змащенні вальниця зазнає абразивне зношення (рис. 6.8). Воно супроводжується руйнуванням поверхні елементів вальниць. Тип абразивного зношення впливає на колір поверхні. Вона може мати тьмянний сірий металевий колір або бути дзеркальною полірованою. Зношення вальниці, зміна її геометрії може призводити до швидкого виходу з ладу. Типовою причиною цього може бути дрібний абразивний пил. Пил може потрапити до вальниці при встановленні, через погане ущільнення або з брудним мастилом. Способи запобігти абразивному зношенню: підтримувати в чистоті робочі поверхні вальниць; промивні ущільнювачі; чисті змащувальні матеріали.



Рисунок 6.8 – Абразивне зношення [13]

Наслідком абразивного зношення є поява задирів на поверхні (рис. 6.9). Вони мають вигляд глибоких подряпин на доріжках і тілах кочення. Задири можуть бути концентратами напруження та призводити до передчасного втомного руйнування. Задири виникають при потраплянні у вальницю відносно великих сторонніх частинок, що рухаються доріжками разом з тілами кочення. Способи запобігання: гарні ущільнювачі; чисті змащувальні матеріали.



Рисунок 6.9 – Задири [13]

Одна з основних причин виходу з ладу вальниць кочення є перегрівання. Недостатнє змащування, тертя зовнішнього кільця і валу, надмірне обтискання зовнішнього кільця привстановленні його в корпус або надто висока частота обертання валу приводять до появи перегріву (рис. 6.10). В окремих випадках перегрів вальниці може вже виникати про проведенні термічної обробки, а саме гартування.



Рисунок 6.10 – Перегрів [13]

На рис. 6.11 наведено зруйнований сепаратор та тіло кочення (ролик). Ролики мають коричневий колір, що вказує на те, що вальниця нагрівалася до 250°C (відбувся перегрів) [14]. Це вказує на недостатнє змащування. Перегрів привів до зниження твердості мартенситу внаслідок зменшення його ступеня тетрагональності. Що в свою чергу привело до зниження втомної міцності та зародження тріщини в тілі кочення, перенавантаження вальниці та

розповсюдження тріщини. А далі через несправність тіла кочення відбувається вигинання сепаратору та остаточне руйнування вальниці.



Рисунок 6.11 – Перегрів вальниці кочення

При проковзуванні вальниці через перевантаження і недостатнє змащування виникає натирання (рис. 6.12). Надмірне осьове навантаження призводить до натирання на торцях циліндричних роликів. Натирання може бути наслідком неправильного складання вальниць або недостатнім його змащенням.



а – кільце внутрішнє; б – ролики

Рисунок 6.12 – Натирання[13]

На рис. 6.12 наведено приклад пошкодження при складанні. Зовнішнє кільце встановили неправильно і після складання ролики залишили вм'ятини на доріжках кочення вальниць.

При пошкодженні сепаратора (рис. 6.16) виникають тріщини, що призводить до його руйнування та до швидкого виходу з ладу вальниць. Причини пошкодження сепаратора: вигинання через неспіввісність та рух кульок по пересічних траєкторіях; неправильне складання вальниці; забруднення або несвоєчасне змащування вальниць.



Рисунок 6.12 – Пошкодження при складанні [13]



Рисунок 6.13 – Пошкодження сепаратора [13]

Іноколи при експлуатації в вальницях виникає нехарактерний шум, що супроводжується підвищенням температури. До цього може привести погане центрування двигуна, забруднення вальниці, значне зношення окремих деталей (кульок, роликів) та нещільна посадка внутрішнього кільця вальниці на вал.

Таким чином, з вище наведеного можна зробити висновок, що необхідно дуже ретельно дотримуватись вимог до складання вальниць та рекомендацій від виробника по експлуатації вальниць. Крім того, недотримання технології виготовлення елементів вальниць, а саме литво, механічна та термічна обробка, які можуть супроводжуватись утворюванням таких дефекти як неметалеві включення, ризики, надрізи, перегрів, невідповідність структури вимогам також можуть приводити до передчасного втомного руйнування.

Суттєвий вплив на забезпечення високих характеристик міцності, втомної міцності, зносостійкості має термічна обробка.

Оптимальне співвідношення міцності і контактної витривалості елементів вальниць виготовлених зі сталі ШХ15 забезпечується гартуванням та наступним відпуском на твердість 61...64 HRC. Термічна обробка вальничевої сталі передбачає операції відпалу, гартування і відпуску. Заготовки після кування піддають відпалу при температурі 790...810°C для зниження твердості і отримання структури дрібнозернистого перліту[3]. Температура гартування становить 820...840°C. Температура залежить від масивності виробів: чим масивніше виріб, тим вища температура гартування. Охолодження деталей проводять в оливі. Безпосередньо після гартування проводять відпуск при 160...180°C. Твердість після гартування і відпуску 61...64 HRC, структура – приховано-кристалічний мартенсит з рівномірно розподіленими дрібними надлишковими карбідами цементитного типу.

Підвищення температур в умовах циклічного контактного навантаження призводить до інтенсивного проходження структурних змін. Внаслідок чого різко знижується вантажопідйомність вальниць кочення, зменшується їх довговічність і надійність (рис.6.14).

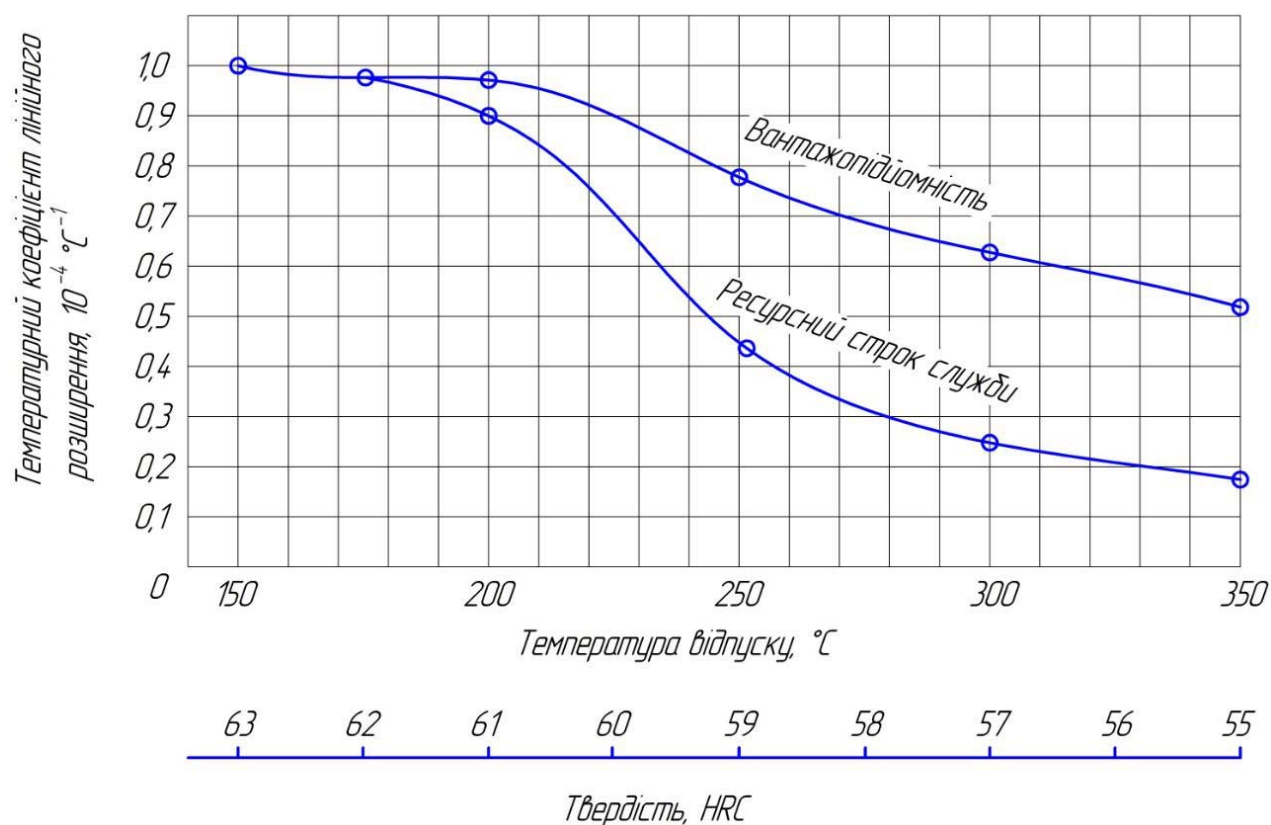


Рисунок 6.14 – Вплив температури відпуску на вантажопід'ємність та тривалість роботи вальниці[15]

Як видно з таблиці 6.1 кращу контактну витривалість сталь ШХ15 має після відпуску при 160°C.

Таблиця 6.1 – Контактна витривалість сталі ШХ15 [15]

Марка сталі	Кількість зразків	Довговічність в циклах	
		№50·10 ⁶	№10·10 ⁶
ШХ15 Відпуск 250°C	10	23,4	9,33
ШХ15 Відпуск 160°C	10	60,3	27,3

Порівнюючи мікроструктури (рис. 6.18) та механічні властивості (табл. 6.2) двох зразків з різною температурою відпуску можна зробити висновок що відпуск слід проводити при 160°C. Після відпуску 250°C зразки зі

сталі ШХ15 мають більш стабільну вихідну структуру (залишковий аустеніт повністю розпався, тетрагональність мартенситу – мінімальна). «Білих» суцільних шарів (складаються з А, М та карбідів) на цих зразках не спостерігається, але помітно збільшився ріст вихідних карбідів у робочій зоні, що, в свою чергу, призведе до зменшення твердості сталі і, як наслідок, зменшення тривалості експлуатації виробу.

Таблиця 6.2 – Механічні властивості сталі ШХ15 після гартування з 840°C в оливі залежно від температури відпуску [8]

Температура відпуску, °C	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	HRC ₃
160	-	2250	62...64
200	1960...2200	2160...2550	61...63
300	1670....1760	2300...2450	56...58



а)

б)

а – відпускання 160 °C; б – відпускання 250 °C

Рисунок 6.18 – Мікроструктура зразка зі сталі ШХ15[15]

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було проаналізовано умови експлуатації вальниць кочення зі сталі ШХ15. З'ясовано, що вальниця кочення сприймає обертові моменти від обертання валу, значні радіальні навантаження та незначні осьові навантаження. Тому, до матеріалу для виготовлення вальниць висувають високі вимоги до чистоти сталі за неметалевими включеннями, карбідною неоднорідністю тощо. Також, матеріали з яких виготовляють вальниці повинні забезпечити високу статичну вантажопідйомність та високий опір контактній втомі. Всім зазначеним вище вимогам відповідає сталь ШХ15.

Створено маршрутну технологію виготовлення вальниць кочення. Досліджено сталь ШХ15, її фізичні та механічні властивості, а також вплив на них передбаченої термічної обробки. Вона полягає у гартуванні при $830 \pm 10^\circ\text{C}$ з охолодженням в маслі та наступним низькотемпературним відпусканням при $170 \pm 10^\circ\text{C}$ з охолодженням на повітрі.

Важливим є виготовлення якісної продукції, тому було досліджено дефекти, що можуть виникнути в процесі проведення термічної обробки, заходи по їх запобіганню, а також виправленню.

У процесі експлуатації часто може виникати передчасний вихід з ладу деталей вальниць. У зв'язку з цим було досліджено можливі причини руйнування вальниць кочення. Для підвищення строку роботи деталі необхідно дуже ретельно дотримуватись вимог до складання вальниці та рекомендацій від виробника по експлуатації вальниць. Крім того, недотримання технології виготовлення елементів вальниці, а саме литво, механічна та термічна обробка, які можуть супроводжуватись утворюванням таких дефекти як неметалеві включення, риси, надрізи, перегрів, невідповідність структури вимогам також можуть приводити до передчасного втомного руйнування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Harris, Tedric A. *Rolling Bearing Analysis* [2 Volume Set] / Tedric A. Harris, Michael N. Kotzalas. – Boca Raton : Crc Press, 2006. – 763p.
<https://doi.org/10.1201/9781482275148>
2. Гайдамака А.В. Вальниці кочення: навч. пос. / А.В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – 248с.
3. Bhadeshia H. K. D. H. Steels for Bearings / H. K. D. H. Bhadeshia // Progress in Materials Science. University of Cambridge. – 2012. – Vol.57. – P.268-435. – Mode of access: <http://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2011/Bearings/index.html#Stickels:1974> (date of access: 25.05.2023). – Title from screen.
4. ДСТУ ГОСТ 520:2014. Вальниці кочення. Загальні технічні умови. [Чинний від 2015-01-01]. – Вид. офіц. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 68с.
5. ДСТУ ISO 683-17:2008. Сталі термооброблені, леговані та автоматні. Частина 17. Вальницеві сталі. [Чинний від 2008-08-04]. – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. – 24с.
6. Попова Л. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β -раствора в сплавах титана: Справочник. / Л. Е. Попова, А. Л. Попов. – М.: Металлургия, 1991. – 504 с.
7. Кузін О.А. Металознавство та термічна обробка металів: підручник / О.А. Кузін, Р.А. Яцюк – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.
8. Burrier H.I.. Bearing steels. In: Materials Handbook : 10th edn. / H.I. Burrier // – Vol. 1. ASM International. – Materials Park, OH, 1990. – 380 p.
9. Сігова В.І. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. /В.І. Сігова, В.Б. Юскаєв, А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с.

10. Лазечний І.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Лазечний, О.В.Климов, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця ; Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.

11. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник. / А.Ф. Будник – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 212 с.

12. Beswick John M. Bearing Steel Technology / John M.Beswick – ASTM, 2002. – 536p. DOI: 10.1520/STP1419-EB.

13. Типові проблеми у роботі вальниць та їх причини [Електроннийресурс]. – Режим доступу: <https://ebearing.com.ua/uk/content/269-tipovi-problemi-u-roboti-pidshipnikiv-ta-yikh-prichini> (дата звернення: 31.05.23). – Назва з екрана.

14. R. Gopalakrishnan. An interdisciplinary framework to predict premature roller element bearing failures in wind turbine gearboxes / Gopalakrishnan Ravi, Pieter-Jan Daems, Ksenija Nikolic, Wim DeWaele, Jan Helsen, Roumen Petrov, Kim Verbeken, Bart Teerlinck, Stijn Hertelé // Forschung im Ingenieurwesen. – 2021. – Vol. 85. – P. 229-240.<https://doi.org/10.1007/s10010-021-00463-0>.

15. Краснова Г.О. Дослідження структурних перетворень при контактному циклічному навантаженні вальницевих сталей: звіт / Краснова Галина Олександрівна; Запорізький машинобудівний інститут ім. В.Я. Чубаря. – Запоріжжя, 1972. – 20с.

ДОДАТОК А

ЕСКІЗ ВАЛЬНИЦІ, НОМЕНКЛАТУРА, ХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ ШХ15



а)

а – шариковий; б – роликовий

б)

Рисунок А.1 – Схема вальниці кочення

Таблиця А.1 – Номенклатура виробів (ДСТУ ГОСТ 520:2014)

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу кг	Розміри виробу, мм					Вимоги до матеріалу
			B	d	D	D _p ×L _p	D _ш	
Вальниці загального призначення								
Ролики	ШХ15	0,0055	9,8	8,0	11,0	3×5	–	HRC 61...63
		0,0139	12,0	5,0	15,0	8×10	–	HRC 61...63
Шарики	ШХ15	0,0282	6,0	7,0	19,0	–	3,969	HRC 61...63
		0,04	10,0	17,0	35,0	–	4,763	HRC 61...63

Таблиця А.3 – Режими термічної обробки та основні механічні властивості вальницевої сталі ШХ15 [8]

Марка сталі	Оптимальна ТО	Механічні властивості (не менше)				
		σ _B , МПа	σ _{0,2} , МПа	KCU, Дж/см ²	HRC (HB)	σ ₋₁ , МПа
1	2	3	4	5	6	7
ШХ15	Відпал, 800°C, піч до 730°C, потім до 650°C зі швидкістю 10-20°C/год, повітря	590...730	370...410	44	(179...207)	333(N=1·10 ⁶)
	Гартування 810-820°C, вода до 200°C, потім олія + Відпуск 150°C, повітря	2160	1670	5	62...65	804 (N=1·10 ⁶)

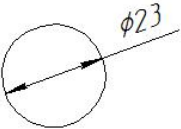
Таблиця А.2 – Хімічний склад вальницевих сталей (ДСТУ ISO 683-17:2008)

Марка сталі	Легувальний елемент, % (мас)							
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
	не більше							
ШХ15	0,95...1,05	0,17...0,37	0,20...0,40	1,3...1,65	0,02	0,027	0,30	0,25

ДОДАТОК Б

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА ТА ГРАФІК ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ШАРИКІВ ВАЛЬНИЦІ ЗІ СТАЛІ ШХ15

Таблиця Б.1 – Карта технологічного процесу термічної обробки кульок вальниці зі сталі ШХ15

Ескіз виробу			Технічні умови			
			Марка сталі	Твердість	Структура	
			ШХ15	HRC 61...65	Дрібногочастий мартенсит+ 10...12% A _{зал} + КП	
1	2	3	4	5	6	7
№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С, час, хв., середовище та його витрати	Режим охолодження: середовище, його температура	Назва пристосувань, кількість, шт.	Умови контролю та обробки
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, вимірювальний інструмент	—	—	—	5% від партії, відповідність хімічному складу сталі ШХ15СГ, лінійним розмірам
2	Гартування	СБЗА-4.24/9				
2.1	Нагрівання	СБЗА-4.24/9	830±10°C; 1,25 год; ендогаз	—	Насипом, 150кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища
2.2	Витримка	СБЗА-4.24/9				Температура в печі, час, тиск газу, витрата газу, склад середовища
2.3	Охолодження	Гартівний бак (ЗББ-400)		Масло $v_{ох} = 50^\circ\text{C}/\text{с}$ $\tau_{ох} = 1 \text{ хв}$		Температура масла, рівень масла

3	Промивання	Мийна машина (ММК-400)		7% розчин кальцинової соди, 80 - 90°C		Темпера-тура розчину, рівень
3	Контроль	Твердомір ТК-2, мікроструктура				5% від партії, твердість HRC64...66
4	Відпускання	СБЗА-4.24/3				
4.1	Нагрівання	СБЗА-4.24/3	170± 10° C; 0,5±0,2 год; повітря		Насипом, 150кг	Темпера-тура в печі
4.2	Витримка	СБЗА-4.24/3	170± 10° C; 2±0,2 ч; повітря		Насипом, 150кг	Темпера-тура в печі
4.3	Охолодження	стіл		Повітря $v_{ок} = 5^{\circ}C /$ $c\tau_{ок} = 10хв$		
5	Остаточний контроль	Твердомір ТК - 2, мікроскоп				5% від партії, твердість HRC 61...63, мікроструктуру

ДОДАТОК Б

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА ТА ГРАФІК ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ШАРИКІВ ВАЛЬНИЦІ ЗІ СТАЛІ ШХ15

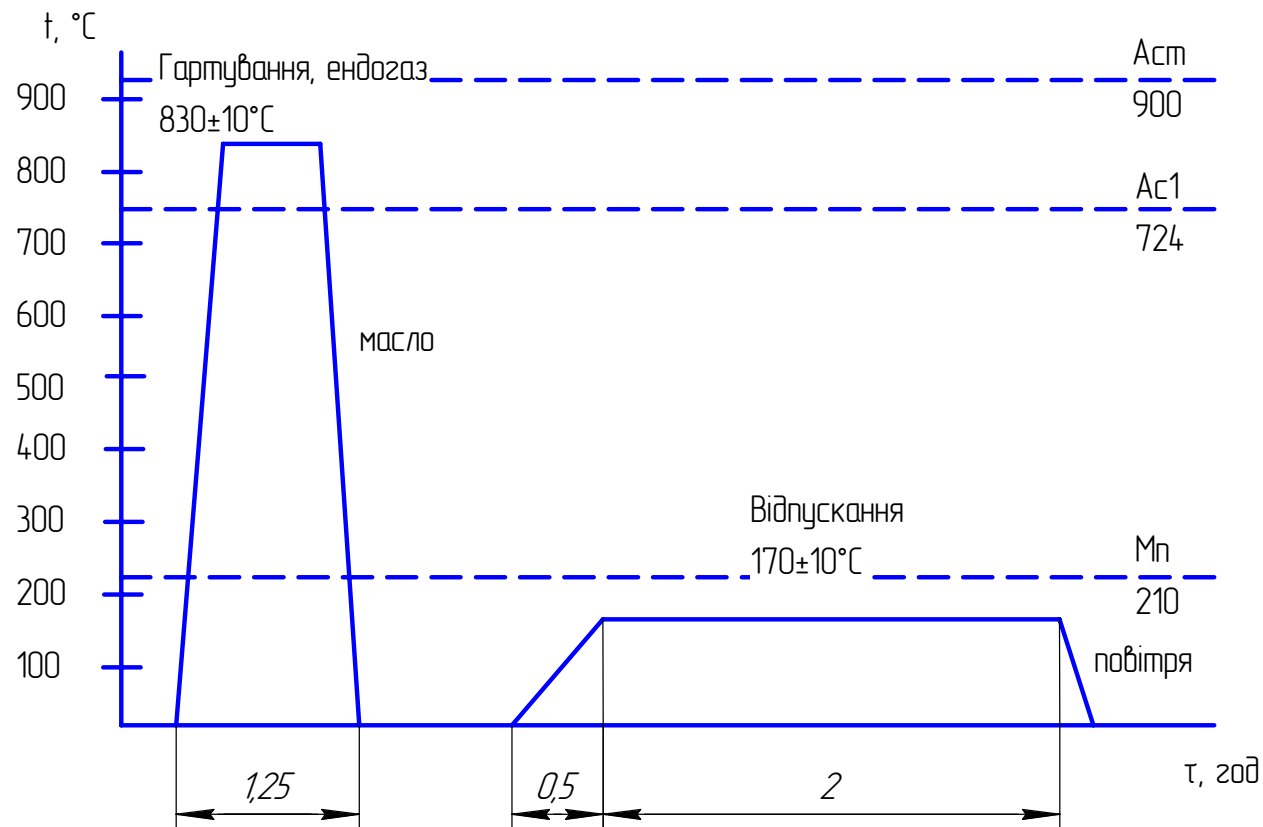
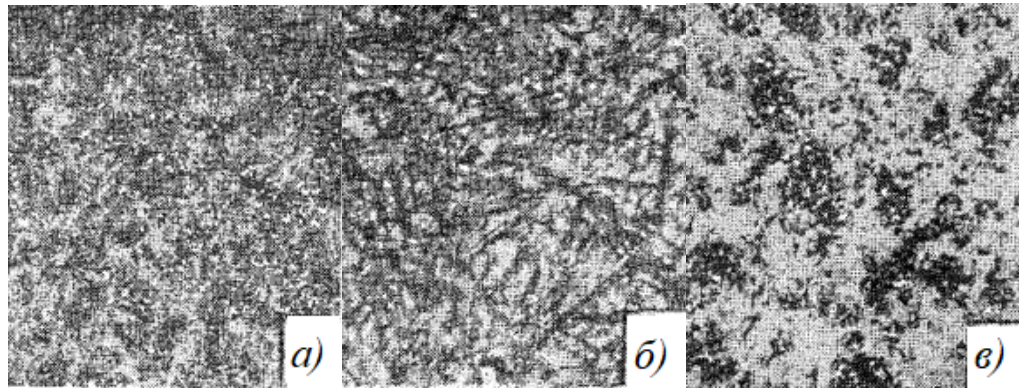


Рисунок Б.1 – Графік термічної обробки кульок вальниць зі сталі ШХ15



- а – після нормального гартування (прихованоголчастий мартенсит і карбіди);
б – після гартування з перегрівом (крупноголчастий мартенсит та карбіди);
в – після гартування з недогрівом (мартенсит, троостит і карбіди), $\times 500$

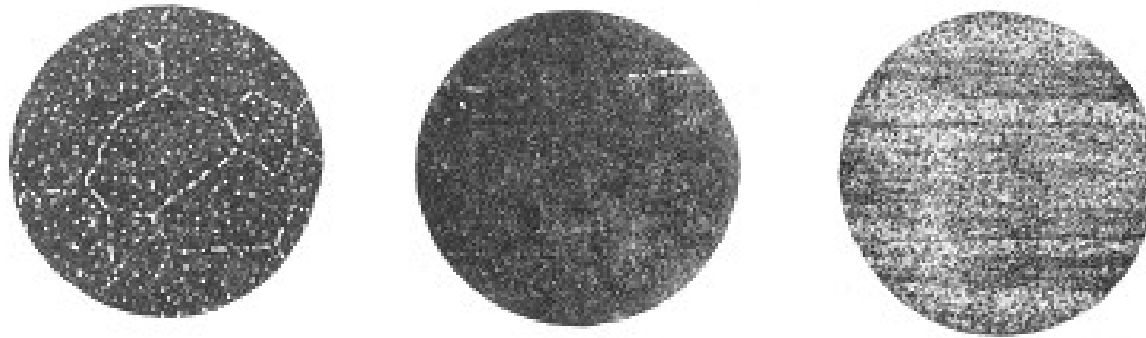
Рисунок Б.2 – Мікроструктура вальничевої сталі ШХ15

ДОДАТОК В

ДЕФЕКТИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Таблиця В.1 – Дефекти, які можуть виникати під час гартування та відпуску

№	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
Гартування				
1	Тріщина	1.1.Неметалеві включення та інші концентратори напружень; 1.2.завищена швидкість охолодження при гартуванні; 1.3.завищена температура гартування;	1.1.Проведення термічної обробки матеріалів виробів із грубими неметалевими включеннями; 1.2.використання оптимального гартівного середовища; 1.3. дотримання оптимальної температури гарту, сходинкове охолодження.	Дефект невилправний;
2	Понижена твердість	1.Знижена температура гарту; 2.Занижений час витримки при раціональних температурах; 3.Знеуглецювання; 4.охолодження зі швидкістю менше критичної;	1.,2. Термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу; 3. проведення гартування в захисному середовищі; вакуумі; 4.проведення охолодження у відповідному середовищі зі швидкістю вище критичної;	1.,2. нормалізація та відпал за раціональним режимом; 3.відпал, науглецювання реставраційне та повторне гартування в раціональному середовищі 4. Відпал і повторний гарт.
3	Крупне зерно	1.Перегрів(завищена температура гартування та час гартування);	1.Дотримання заданих температур і часу;	1.Відпал або високотемпературний відпуск і повторне гартування;
4	Короблення	1.Підвищена температура гартування; 2.Нераціональне розташування виробів в садці; 3.Використання невідповідного гартівного середовища.	1.Дотримання оптимальної температури гарту; 2.Дотримання схеми садки при її формуванні 3.Гартування у відповідному середовищі.	1. Нормалізація та повторне гартування 2, 3 Необхідно використовувати гартування в заневоленому стані;
Відпуск				
1	Понижена твердість	1.Завищені температури та тривалість відпуску.	1. Дотримання технології.	1.Повторне ТО
2	Підвищена твердість	1. Недостатня тривалість відпуску	1. Проведення відпускання за параметрами, які передбачено технологією	1. Проведення відпуску (повторного) за технологією



а)

б)

в)

а – карбідна сітка; б – карбідна ліквіація; в – структурна смугастість

Рисунок В.1 – Карбідна неоднорідність в сталі ШХ15, $\times 150$ [12]

ДОДАТОК Г

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПУСКУ НА СТРУКТУРУ, ВАНТАЖОПІД'ЄМНІСТЬ ТА ТРИВАЛІСТЬ РОБОТИ ВАЛЬНИЦІ, КОНТАКТНУ ВИТРИВАЛІСТЬ, ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ

Таблиця Г.1 – Контактна витривалість сталі ШХ15

Марка сталі	Кількість зразків	Довговічність в циклах	
		№50·10 ⁶	№10·10 ⁶
ШХ15 Відпуск 250°C	10	23,4	9,33
ШХ15 Відпуск 160°C	10	60,3	27,3

Таблиця Г.2 – Механічні властивості сталі ШХ15 після

гартування з 840°C в оливi залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °C	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	HRCэ
160	-	2250	62...64
200	1960...2200	2160...2550	61...63
300	1670...1760	2300...2450	56...58

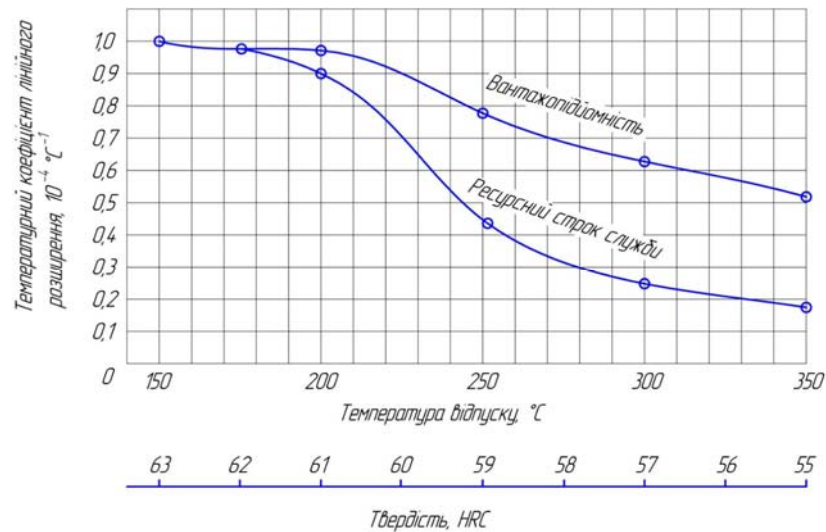
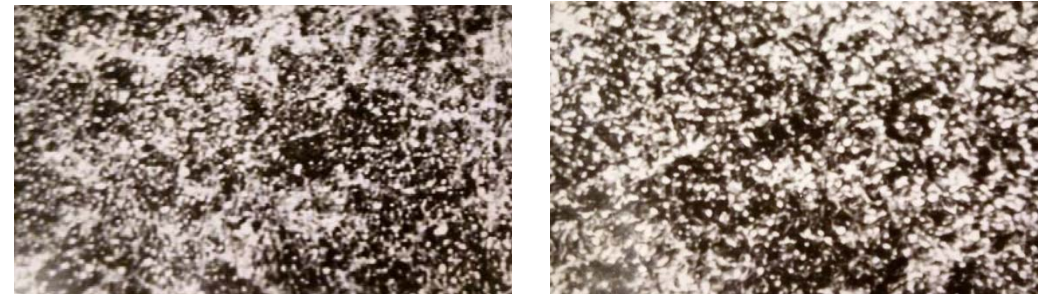


Рисунок Г.1 – Вплив температури відпуску на вантажопід'ємність та тривалість роботи вальниці



а) б)
а – відпускання 160 °C; б – відпускання 250 °C
Рисунок Г.2 – Мікроструктура зразка зі сталі ШХ15