

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет  
Факультет митної справи, матеріалів та технологій  
Кафедра матеріалознавства**

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

**Вплив режимів термічної обробки, технологічних середовищ та властивостей вхідної заготовки на деталі конічних підшипників /  
The influence of heat treatment modes, technological environments and properties of the incoming workpiece on tapered rollers bearing parts**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Матеріалознавство»

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи Мм-21  
Гах Андрій Володимирович

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
Мельничук Микола Дмитрович

\_\_\_\_\_ (підпис)

Луцьк – 2025 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Імбирович Н.Ю.

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

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



## АНОТАЦІЯ

Гах Андрій Володимирович. Вплив режимів термічної обробки, технологічних середовищ та властивостей вхідної заготовки на деталі конічних підшипників. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У роботі проведено аналіз режимів термічної обробки, технологічних середовищ та властивостей вхідної заготовки, які впливають на якість деталей конічних підшипників. Запропоновано модернізацію технологічного обладнання з вдосконаленням існуючого технологічного процесу.

Текстова частина містить 49 сторінок тексту, 31 рисунок, 3 таблиці, 20 літературних джерел, 1 додаток. Графічна частина містить 12 листів формату А4 у додатку А.

Ключові слова: термічна обробка, відпуск, підшипник, мікроструктура, розмірна стабільність.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 1225.00.000 ПЗ			
Розроб.	Гах				Вплив режимів термічної обробки, технологічних середовищ та властивостей вхідної заготовки на деталі конічних підшипників	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Мисковець						3	49
Реценз.						ЛНТУ, каф. матеріалознавства, гр. ММ-21		
Н. Контр.	Мисковець							
Затв.	Імбирович							

## ABSTRACT

Andriy Volodymyrovych Gakh. The influence of heat treatment modes, technological environments and properties of the input workpiece on tapered bearing parts. Manuscript.

Master's qualification work OP "Materials Science" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The master's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of sources used and appendices. The work analyses the heat treatment modes, technological environments and properties of the input workpiece, which affect the quality of tapered bearing parts. The modernization of technological equipment with the improvement of the existing technological process is proposed.

The text part contains 49 pages of text, 31 figures, 3 tables, 20 references, 1 appendix. The graphic part contains 12 A4 sheets in Appendix A.

Keywords: heat treatment, tempering, bearing, microstructure, dimensional stability.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....	9
1.1. Призначення та характеристика підшипників .....	9
1.2. Сучасні методи зміцнення підшипникових сталей .....	11
1.3. Технологія та обладнання для термічної обробки деталей підшипника.....	14
1.4. Гартувальні середовища термічної дільниці ПрАТ «СКФ Україна» .....	18
1.5. Вибір деталей.....	19
1.6. Опис вибраної марки сталі .....	24
1.7. Мета і задачі дипломної роботи .....	26
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ .....	27
2.1. Аналіз результатів вхідного контролю .....	27
2.2. Аналіз вимог споживача до продукції після ТО та розробка тимчасового технологічного процесу.....	30
2.3. Аналіз результатів отриманих при застосуванні тимчасового технологічного процесу.....	32
2.4. Пропозиції щодо покращення мікроструктури.....	34
2.5. Дослідження розмірної стабільності.....	36
РОЗДІЛ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І ПІДБІР РЕЖИМУ ВІДПУСКУ .....	39
3.1. Пропозиції щодо модернізації технологічне обладнання (холодної мийки)39	
3.2. Підбір режиму відпуску.....	41
3.3. Результати проведеної модернізації обладнання.....	42
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ПОСТІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	44
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47
ДОДАТКИ	

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

Однією з основних задач у сучасному машинобудуванні є широке технічне переоснащення обладнання і вдосконалення технологічного процесу з метою сформулювати необхідні довгострокові зобов'язання, виконання яких гарантуватиме постійну відповідність очікуванням споживачів та зацікавлених сторін, що забезпечить довготривалу присутність бренду SKF-Automotive на ринку.

Деталі підшипника виготовляють на підприємствах різними способами: литтям, куванням, штампуванням, механічною обробкою. Але в більшості випадків виріб після цих технологічних операцій не вважається повністю готовим – він може виявитися або занадто твердим, або крихким, чи занадто м'яким. У цьому разі виріб піддають термічній обробці, за допомогою якої, не змінюючи форми і розмірів виробу, йому надають необхідних властивостей, головним чином – твердості. А правильний вибір гартувального середовища дає змогу уникнути в процесі термічної обробки таких важливих дефектів, як деформація, непостійність, конусність і відповідну структуру кілець тощо.

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

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

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

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приватне акціонерне товариство «СКФ Україна» – єдине в Україні підприємство, що виробляє роликові конічні підшипники. На початку 80-х років воно забезпечувало своєю продукцією весь ринок Радянського Союзу.

Завод у Луцьку єдиний в складі корпорації SKF, що має повний цикл виробництва підшипників: починаючи від закупівлі металу і закінчуючи зібраними підшипниками. Адже більшість підприємств корпорації SKF є вузькоспеціалізованими на окремих видах обробки чи виготовленні компонентів.

Продукція підприємства використовується у всіх галузях народного господарства та забезпечує своє представництво у всіх країнах світу.

Сьогодні корпорація SKF є другою в світі із виробництва підшипників. Вона налічує 165 підприємств в 29 країнах світу, 15 тисяч дистриб'юторських представництв.

У 1976 році розпочалось будівництво ДПЗ-28 в Луцьку. Згодом введено в експлуатацію перші потужності і випущений перший підшипник. Проведені випробування підшипників показали відмінні результати. Після приватизації завод набув статусу відкритого акціонерного товариства.

У 1998 році корпорація SKF придбала 28% державного пакету акцій і почала викупляти частки працівників. Наступного року почалася реструктуризація та освоєння ринків Європи та світу, що дало початок нового бізнесу по виробництву компонентів підшипників для інших заводів SKF: Люхів, Познань, Швайнфурт, Каджамар.

З 2007 року підприємство отримало право маркувати продукцію логотипом SKF. Перехід продукції на бренд SKF замість LBP свідчило про підвищення рівня якості продукції. В 2010 році відбулася зміна ВАТ «СКФ Україна» на АТ «СКФ Україна»(публічне). З 2017 року і станом на сьогоднішній день назва ПрАТ «СКФ Україна».

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільший споживач продукції Луцького заводу підприємства групи Volkswagen (Germany). Підшипники також поставляються провідним світовим і європейським автовиробникам – Meritor( Italy, Sweden); MAN (Germany); IVECO (Italy); SCANIA (Sweden); MTZ (Belarus); MAZ (Belarus); KrAZ, Ukraine та інші.

На підприємстві випускають 98 типів підшипників. З них 88 – метричні, а 9 – дюймові (в основному їх експортують для американського ринку). Виготовляють і 12 типів підшипників для трейлерів, три типи малої розмірної групи (основний споживач – Volkswagen), 305 типів точених кілець. Продають готові ролики і сепаратори.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## РОЗДІЛ 1

### ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

#### 1.1. Призначення та характеристика підшипників

Підшипник – виріб, що є частиною опори, котрий підтримує та фіксує вал, вісь чи іншу конструкцію, забезпечує обертання, кочення чи лінійне переміщення з мінімальним опором, сприймає та передає навантаження на інші частини конструкції. Призначення підшипника – зменшувати тертя між рухомими і нерухомими частинами машини, оскільки з тертям пов'язані втрати енергії, нагрівання та зношування механізмів.

Основні типи підшипників, що використовуються в машинобудуванні: підшипники кочення, підшипники ковзання.

Підшипник кочення працює на використанні принципу тертя кочення та переважно складається з зовнішнього та внутрішнього кілець, тіл кочення (роликів чи кульок) і сепаратора. Відносно обертання внутрішнього кільця відносно зовнішнього забезпечується за рахунок тіл кочення між кільцями.

Підшипник ковзання працює на використанні принципу тертя в умовах проковзування через шар мастила, або безпосередньо між поверхнями підшипника.

ПрАТ «СКФ Україна» спеціалізується на виробництві роликів конічних радіально-упорних підшипників. «Радіально-упорний» означає, що підшипник сприймає радіальне (переважно) та осьове навантаження.

Роликовий конічний підшипник складається з таких деталей: зовнішнє кільце а, внутрішнє кільце б, ролик (тіло кочення) в, сепаратор г (рисунок 1.1).

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

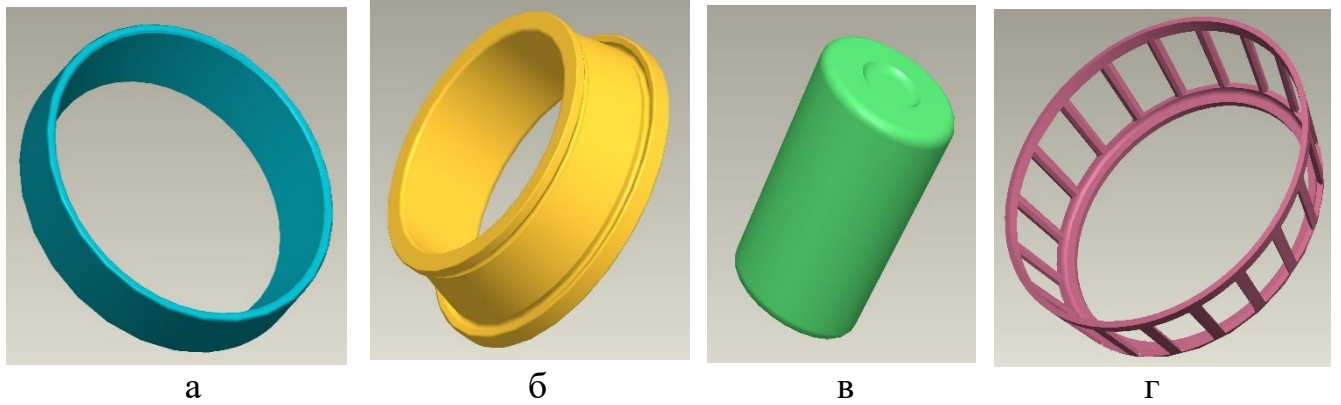


Рисунок 1.1 – Будова роликового конічного підшипника:

а – зовнішнє кільце; б – внутрішнє кільце; в – ролик; г – сепаратор

Якість, довговічність підшипників, їх застосування великою мірою визначаються матеріалами, з яких виготовлені їх деталі. Основна маса роликових конічних підшипників виготовляється з підшипникових сталей. Такі сталі після термічної обробки мають високу твердість і низьку зношуваність при експлуатації. Підшипникові сталі діляться на дві основні групи – високовуглецеві (гартуються) і маловуглецеві (цементуються). Найпоширеніша підшипникова сталь – ШХ15 (Grade 3). Вона використовується для виготовлення кілець і тіл кочення підшипників загального призначення. Для деталей великогабаритних підшипників використовують сталь ШХ15СГ (Grade24), щоб забезпечити наскрізне прогартування кілець і роликів цих підшипників, сталь ШХ15СГ додатково легують марганцем і кремнієм. Легування сталей хромом забезпечує високу зносостійкість деталей. Вуглець надає сталі міцності і високої твердості. Ці сталі постачаються на підшипникові заводи у вигляді кованих та гарячекатаних прутків.

Для виготовлення деяких роликових підшипників використовуються також цементовані сталі 18ХГТ, 15Х, 20Х, 18ХГТ, 20НМ. Висока твердість і зносостійкість деталей з таких сталей досягається спеціальним видом термічної обробки – цементациєю, що полягає в насиченні поверхневого шару деталі вуглецем.

Сепаратори роликів конічних підшипників, як правило, виготовляють з конструкційних сталей 08кп, 10пс. В існуючих конструкціях підшипників для виготовлення сепараторів також використовують такі матеріали, як чавун, сплави кольорових металів (бронза, латунь), текстоліт, поліаміди.

На підприємстві ПрАТ «СКФ Україна» деталі підшипників виготовляють з таких матеріалів:

Таблиця 1.1 – Вихідні матеріали

Деталь	Матеріал по ГОСТ	Матеріал по стандарту СКФ
Кільце зовнішнє	ШХ15, ШХ15СГ	Grade 3, Grade24
Кільце внутрішнє	ШХ15, ШХ15СГ	Grade 3, Grade24
Ролик	ШХ15, ШХ15СГ	Grade 3, Grade24
Сепаратор	08кп, 10пс	Grade 90

Вибір сталі для конкретного підшипника диктується його розмірами та умовами експлуатації.

## 1.2. Сучасні методи зміцнення підшипникових сталей

Важливою вимогою до підшипників є їх довговічність (зносостійкість). Оскільки зносостійкість визначається твердістю матеріалу, що зношується, деталі підшипників (ролики, кільця) виготовляються з високовуглецевої сталі і термічно обробляються на твердість порядку 60...64 HRC. При такій твердості руйнування є крихким, що відрізняє підшипник по умовах роботи від інших сталевих деталей машинобудування. На процес зношування підшипників впливає велика кількість різноманітних чинників, що пов'язано з складністю умов їх експлуатації.

Однією з основних операцій, які визначають якість і довговічність підшипників, є термічна обробка. Це найпоширеніший в машинобудуванні спосіб зміни властивостей металів і сплавів. Термічна обробка сталі (ТО) є дуже важливою заключною операцією при виготовленні деталей підшипників. Вона

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

надає їм потрібних механічних властивостей і забезпечує нормальну роботу. Головна задача в області термічної обробки – заміна застарілого і термічного устаткування на нове, більш прогресивне.

Термічна обробка – це сукупність операцій: нагрівання, витримки і наступного охолодження заготовок або готових виробів за певними режимами з метою зміни їх структури надання їм необхідних властивостей.

Термічна обробка сталі полягає у неповному загартуванні (так як за структурою в рівноважному стані сталь – заевтектоїдна) в маслі з температури 830...880 °С і наступному низькому відпуску при 150...175 °С протягом 2...3 годин, що забезпечує отримання твердості не нижчої від 62 HRC. Основними параметрами термічної обробки є температура і час.

Структура підшипникової сталі після термічної обробки являє собою відпущений дрібноголчастий мартенсит з рівномірно розподіленими дрібними надлишковими карбідами хрому.

Вид термічної обробки, можливості її застосування визначаються типом фазових і структурних перетворень, що протікають в сплавах в твердому стані. Залежно від режимів нагрівання і охолодження термічна обробка поділяється на такі основні види: відпал, нормалізація, гартування і відпуск.

Відпал – це операція, за якої сталь нагрівають вище критичних точок видержують при цій температурі і потім повільно охолоджують. В умовах підшипникового виробництва відпалу піддають поковки. Метою відпалу є зняття внутрішньої напруги в сталі, зниження твердості для поліпшення механічної обробки різанням, а також для підготовки структури для подальшого якісного гартування деталей.

Нормалізація полягає в нагріванні сталі вище критичних точок, витримуванні при цій температурі й подальшому охолодженні на спокійному повітрі. Таким чином, нормалізація відрізняється від відпалу незначним збільшенням швидкості охолодження. Нормалізація проводиться для виправлення структури перегріву після відпалу, а також сприяє знищенню

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крихкої цементитної сітки по границях зерен, яка залишається після неякісного охолодження поковок.

Гартування – це операція, під час якої сталь нагрівають вище критичної температури, витримують при цій температурі і потім охолоджують з швидкістю вище критичної. В результаті такої операції в сталі утворюється мартенситна структура, тому твердість і міцність її досягають максимального значення. Відпуском називається операція, яка складається з нагріву і витримки загартованої сталі при необхідних технологічних температурах. Охолодження деталей підшипників після відпуску проводиться на повітрі.

Відпуск загартованих деталей проводиться з метою зменшення в них внутрішніх напружень і твердості, а також підвищення в'язкості.

Більшість видів і різновидів термічної обробки пов'язано з фазовими перетвореннями, які відбуваються при нагріванні сталей вище критичних точок. В основі термічної обробки лежать перетворення, що відбуваються при нагріванні і охолодженні. Основою для цього є діаграма стану залізо-вуглець зображена на рисунку 1.2.

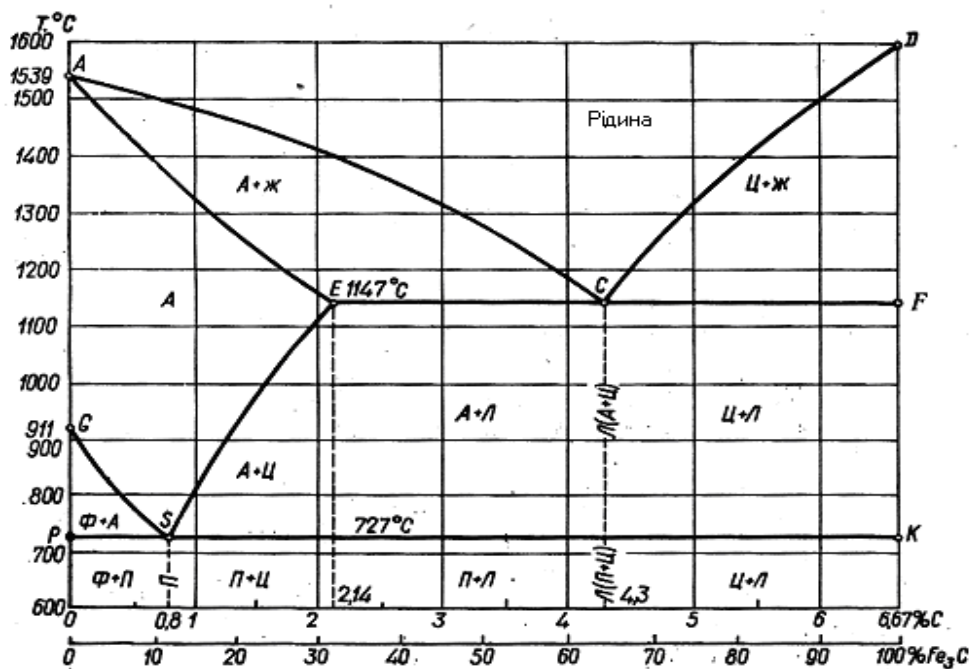


Рисунок 1.2 – Діаграма стану залізо-вуглець

Сталі ШХ15(Grad3, 100Cr6) і ШХ15СГ (Grade24) за хімічним складом відносяться до заевтектоїдної сталі.

З діаграми стану залізо-вуглець видно, що нагрівання сталі до температури нижче лінії PSK не супроводжується будь якими фазовими перетвореннями. Ці перетворення починаються при нагріванні вище лінії PSK, коли перліт перетворюється на аустеніт і структура складається з аустеніт + цементит. Для підшипникових сталей дуже важливий процес формування аустенітного зерна. Структура загартованої сталі залежить головним чином від величини аустенітного зерна.

Після витримки сталі при температурі, коли пройшли необхідний ріст зерна і його насичення вуглецем, сталь охолоджується з критичною швидкістю.

Мінімальна швидкість охолодження, за якої в сталі відбувається мартенситне перетворення, називається критичною швидкістю охолодження. Таким чином, структура сталі визначається не тільки хімічним складом, а й умовами нагрівання і охолодження, тобто режимами термічної обробки.

### 1.3. Технологія та обладнання для термічної обробки деталей підшипника

На підприємстві в термічній дільниці для термічної обробки кілець і роликів використовують автоматизовані гартувально-відпускні конвейерні та рольгангові агрегати.

До складу агрегатів входять: піч для нагріву для гартування, маслобак, миюча машина, піч для відпуску.

В конвеєрній печі деталі рухаються по конвеєру з регулюванням швидкості і після закінчення нагріву падають через лоток в маслобак. В деяких агрегатах є два гартувальні баки для здійснення охолодження з необхідною

швидкістю в мартенситному інтервалі: в першому проводять гартування в гарячому маслі, де  $t$  дорівнює 80...130 °С, в другому – в холодному маслі, де  $t$  дорівнює 30...50 °С.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З гартувального маслобаку деталі по конвеєру переміщуються в миючу машину, яка ділиться на дві зони: в першій зоні здійснюється промивка в гарячому водно-содовому розчині, в другій зоні – стабілізуюче охолодження холодним водно-содовим розчином.

Після миття деталі поступають в піч для відпуску. Після відпуску ролики з конвеєрної стрічки печі відпуску попадають в касети, а кільця – на стіл розвантаження. Зі столу розвантаження, для запобігання забоїн, кільця вручну вкладаються в тару.

В рольганговій печі рух деталей проходить по жаростійких валках (рольгангах) і після закінчення нагріву ці деталі швидкою групою валків передаються на платформу маслобаку. Температура і час нагрівання для гартування визначається необхідністю отримати задану твердість, мікроструктуру і залежать від розмірів деталей (діаметру кілець, товщини стінки).

Температура нагріву: для кілець із сталі ШХ15(Grad3, 100Cr6) – 840...880° С; для кілець із сталі ШХ15СГ (Grade24) – 830...870° С.

Відпуск кілець і роликів проводиться в конвеєрних печах з примусовою циркуляцією повітря для рівномірного їх прогрівання. Відпуск деталей проходить за режимами для:

- кілець із сталі ШХ15 (Grad3, 100Cr6) – 150...175°С;
- кілець із сталі ШХ15СГ (Grade24) – 150...175°С;
- роликів із сталі ШХ15 (Grad3, 100Cr6) – 150...165°;

Загальний час відпуску складає 3,5...4 години.

Схема термічного агрегату і функції його складових показані на рисунку 1.3

Підвищення якості термічної обробки може бути досягнуте шляхом більш широкого запровадження приладів для не руйнуючих методів контролю. Виявлення термічних, металургійних і шліфувальних тріщин здійснюється різними методами. Для контролю деталей на внутрішні дефекти

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Основними шляхами зменшення непостійності, конусності кілець є зниження температури нагрівання в межах допустимих температур, підвищення температури гартувального масла до верхньої допустимої межі і зменшення циркуляції масла в зоні гартування.

Недогрів отримується в тому випадку, коли сталь нагріта до температури нижче технологічної. Цей дефект можна виправити проведенням повторного гартування.

Перегрів отримується в тому випадку, коли сталь була нагріта до температури набагато вищої технологічної чи при заданій температурі була велика витримка в печі. Сталь, перегріту під час гартування, відпалюють і проводять повторне гартування.

Окислення і зневуглецювання сталі під час нагрівання – це результат взаємодії її з газами, які є в атмосфері печі (кисень, вуглекислий газ).

Окислення

характеризується утворенням на поверхні деталі окалини. Зневуглецювання – вигоранням вуглецю в поверхневих шарах деталі. Окислення викликає головним чином технологічні труднощі. Шліфувальний круг, який шліфує деталі покривається окалиною, швидко втрачає профіль і починає робити опіки і навіть

шліфувальні тріщини. Потрібна додаткова операція очистки деталей від окалини. Зневуглецювання, якщо його розмір виходить за межі припуску на шліфування знижує міцність робочих поверхонь деталей, тому необхідно вишукувати шляхи зменшення дефектного шару або збільшувати припуск на шліфування.

Радикальним засобом захисту від окислення і зневуглецювання є проведення термічної обробки деталей підшипників в захисній атмосфері. Найбільш розповсюдженим видом захисної атмосфери для гартування підшипникових сталей є природній газ та азот.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

#### 1.4. Гартувальні середовища термічної дільниці ПрАТ «СКФ Україна»

Велика кількість факторів впливає на якість готової продукції, а саме зовнішнього кільця конічного підшипника. Одним з таких факторів є гартувальне середовище.

Процес гартування складається з двох операцій: нагрівання і охолодження.

Швидкість нагрівання деталей для гартування залежить від їх розмірів, складності форми, а також хімічного складу сталі. Чим більші розміри деталей, складніша їх форма і хімічний склад, тим повільніше повинно проводитись нагрівання.

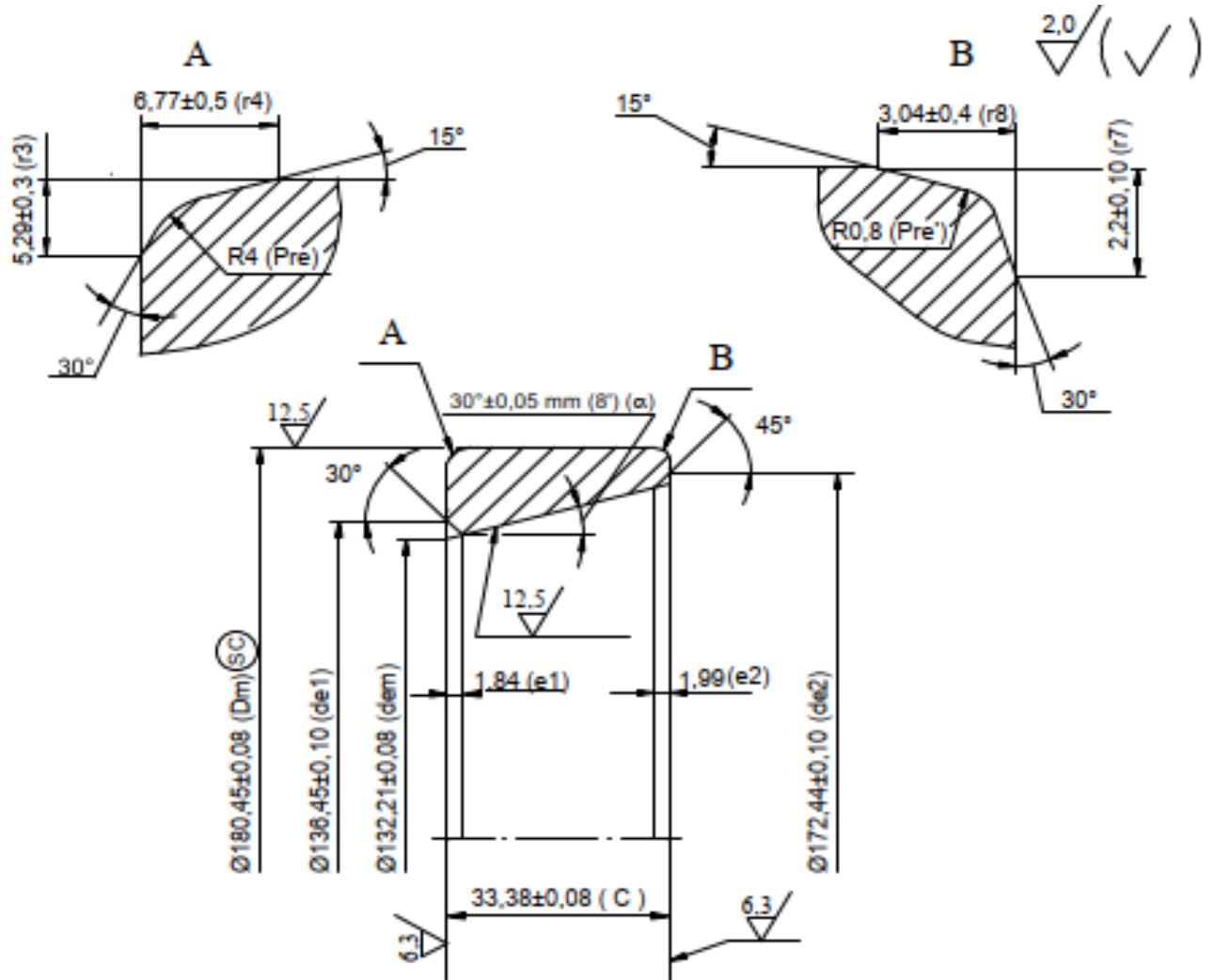
Вирішальним фактором у процесі гартування є швидкість охолодження, тому що, зрештою, саме, вона визначає характер структури, що утворюється в сталі. Швидкість охолодження сталі при гартуванні визначається охолоджуючою здатністю гартувального середовища.

Як гартувальні середовища найчастіше використовують воду і мінеральні масла. Істотним недоліком води є те, що вона охолоджує сталь з великою швидкістю, що призводить до виникнення великих внутрішніх напружень, які викликають деформацію і розтріскування деталей, що загартовуються. Найбільш розповсюдженим видом гартувального середовища під час термічної обробки підшипникових сталей є мінеральне масло, охолоджуюча здатність якого в області температур мартенситного перетворення невисока, що зменшує небезпеку утворення тріщин і гартувальних деформацій. Охолоджуюча здатність мінеральних масел мало залежить від їх температури і сильно зростає під час підвищеної циркуляції. Тому під час гартування деталей підшипників необхідно забезпечити однорідне охолодження для забезпечення стабільності мікроструктури і зменшення деформації.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5. Вибір деталей

Кільце зовнішнє ОМ-Т7FC 095 з вагою 1.883 кг. і товщиною стінки 24.12 мм. показано на рисунку 1.4



- 1 Непостійність діаметра (VDm, Vdem) = 0,10 mm max  
Variation, 2-points
  - 2 Непостійність зовнішнього діаметра, 3 точки (огранка) V3D = 0,22 mm max (призма 60°/prism); V3D = 0,10 mm max (призма 120°/ prism)  
Outer diameter variation, 3-points
  - 3 Непостійність середнього зовнішнього діаметра (конусність) VDm = 0,11 mm max  
Outer diameter difference
  - 4 Непостійність ширини VC = 0,05 mm max  
Width variation
  - 5 Конусоподібність базового торця Pc = 0,05 mm max  
Big face conicity
  - 6 Різностійність VЕе = 0,12 mm max  
Wall thickness variation
  - 7 Відхилення від прямолінійності доріжки кочення Re= ±0,05 mm max  
Raceway crowning
- Умовні позначення / Symbols:  
SC - важлива характеристика / significant characteristics

Рисунок 1.4 – креслення зовнішнього кільця ОМ-Т7FC 095

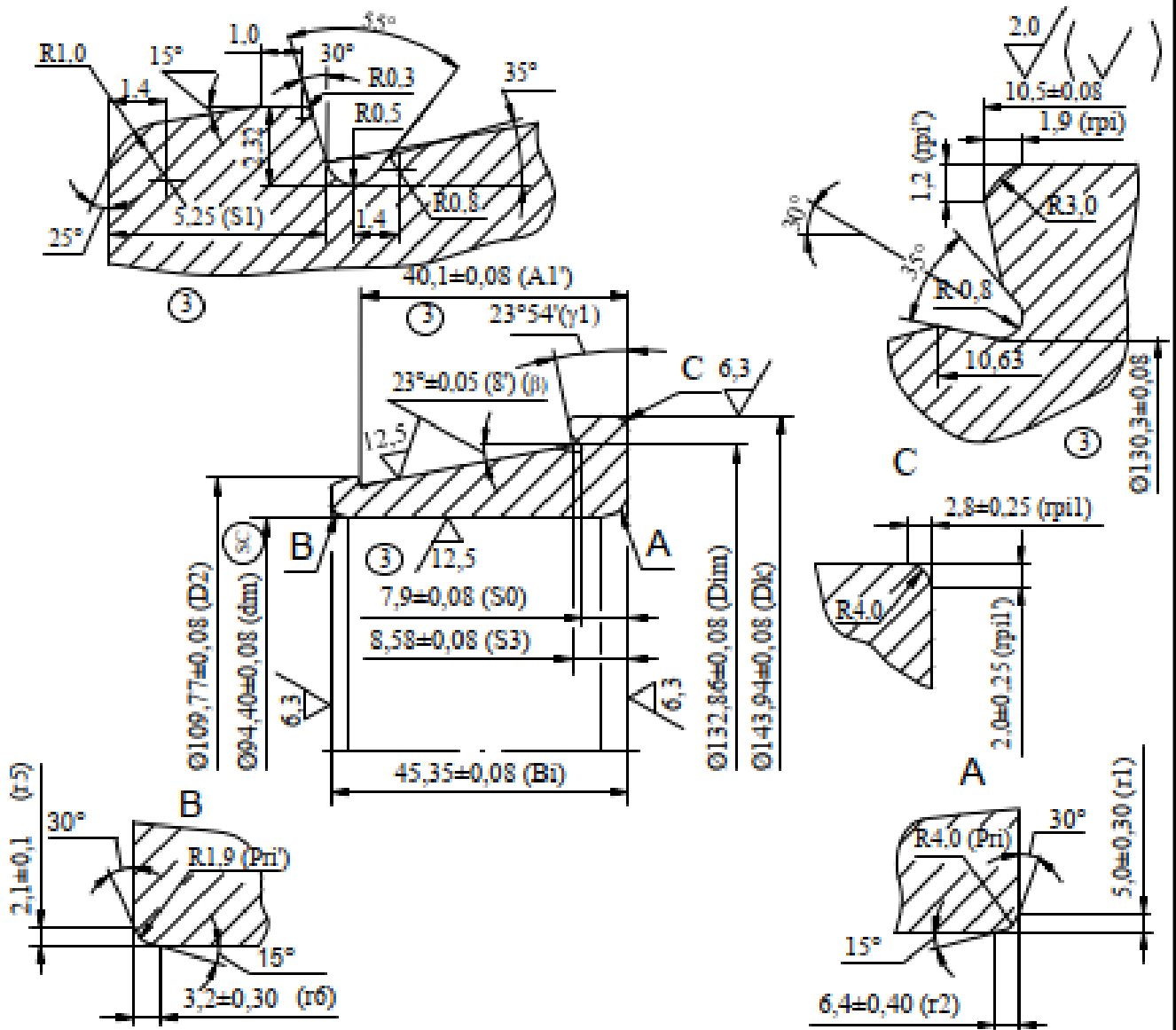
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 1225.00.000 ПЗ

Арк.

19

Внутрішнє кільце ІМ-Т7FC 095 з вагою 1.684 кг. і товщина стінки 19.23 мм.  
показно на рисунку 1.5



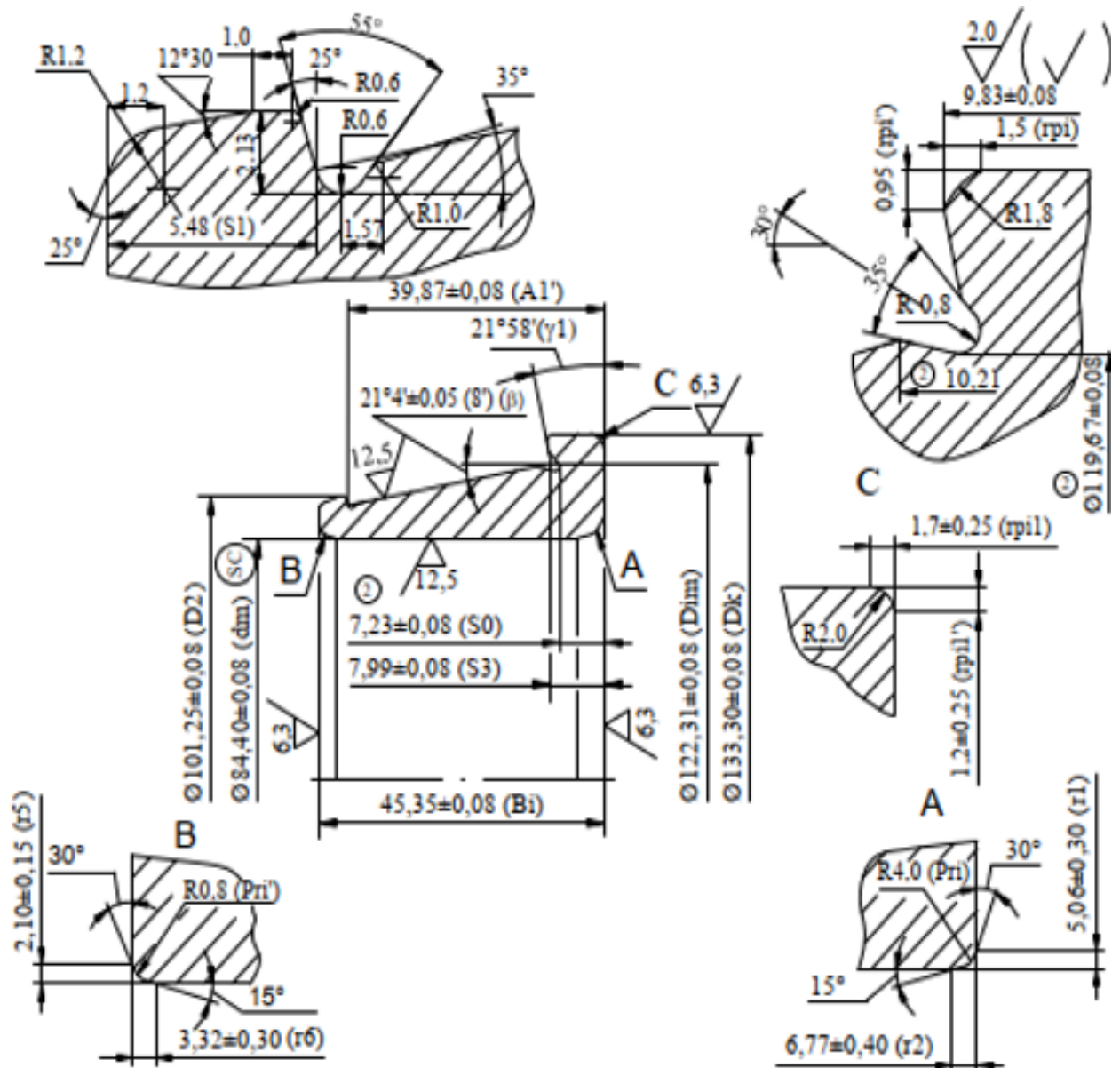
- 1 Неповторність діаметра (VDi, VDk, VD2, Vd) = 0,10 mm max  
Diameter variation, 2-points
  - 2 Неповторність діаметра доріжки кочення, 3 точки (гранка) V3Di=0,22 mm max (гранка/різт 60°), V3Di = 0,10 mm max (гранка/різт 120°)  
Raceway diameter variation, 3-points
  - 3 Неповторність середнього діаметра отвору (конусність) Vdm = 0,08 mm max  
Bore diameter difference
  - 4 Неповторність ширини VBI = 0,05 mm max  
Width variation
  - 5 Конусовидність базового торця Pib = 0,05 mm max  
Big face conicity
  - 6 Різномірність VEI = 0,12 mm max  
Wall thickness variation
  - 7 Відхилення від прямолінійності доріжки кочення PI= ±0,05 mm max  
Raceway straightness
  - 8 Глибина різки від відводу різця 0,05 mm max  
Depth of marks from cutting tool
- Умовні позначення / Symbols:  
SC - важлива характеристика / significant characteristic

Рисунок 1.5 – креслення внутрішнього кільця ІМ-Т7FC 095

				MP 1225.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	20	



Внутрішнє кільце ІМ-Т7ФС 085 з вагою 1.540 кг. і товщина стінки 19.455 мм показано на рисунку 1.7



- 1 Непостійність діаметра (VDi, VDk, VD2, Vd) = 0,10 mm max  
Variation, 2-points
  - 2 Непостійність діаметра доріжки кочення, 3 точки (горня) V3Di=0,22 mm max (призма/prism 60°), V3Di = 0,10 mm max (призма/prism 12°)  
Raceway diameter variation, 3-points
  - 3 Непостійність середнього діаметра отвору (конусність) Vdm = 0,08 mm max  
Bore diameter difference
  - 4 Непостійність ширини VBi = 0,05 mm max  
Width variation
  - 5 Конусовидність базового торця Pib = 0,05 mm max  
Big face conicity
  - 6 Рівномірність VEI = 0,12 mm max  
Wall thickness variation
  - 7 Відхилення від прямолінійності доріжки кочення Pi= ±0,05 mm max  
Raceway crowning
  - 8 Глибина рисок від відводу різця 0,05 mm max  
Depth of marks from cutting tool
- Умовні позначення / Symbols:  
SC - важлива характеристика / significant characteristics

Рисунок 1.7 – креслення внутрішнього кільця ІМ-Т7ФС 085

				MP 1225.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					22	

Згідно з кресленнями можна зробити висновок, що дані кільця є великогабаритні та з великою товщиною стінки. В таблиці 1.2 вказаний підбір марки сталі відносно товщини перерізу стінки. І ми можемо побачити, що товщина стінки даного кільця знаходиться на межі між сталлю Grade 3 та Grade24. Поскільки кремній-марганцева сталь (Grade24), на 20% дорожча в закупівлі заготовки, тому заготовку виготовлено зі сталі Grade 3.

Таблиця 1.2 – Вибір марки сталі відносно товщини стінки

SKF steel grade	According to D33 specification	Martensite		
		Inner Ring	Outer Ring	
			Single row	Multi row
3	D33 11H 2342 792	20	25	20
3L	D33 11H 2342 795	20	25	20
4	D33 11H 2342 800	40	45	40
24	D33 11H 2342 809	35	40	40
5	D33 11H 2342 802	55	60	60
6	D33 11H 2342 804	90	100	90
7	D33 11H 2342 806	120	130	120
GCr15-SK 1)	D33 B100GJ, D33 D101GS, D33 C201GS, D33 D151GS	20	25	20
GCr15-JN 1)	D33 B100GJ, D33 D101GJ, D33 D151GJ	20	25	20
SXJN1	D33 B100GX, D33 D101GX, D33 C201GX, D33 D151GX	20	25	20
WX15-PV	D33 B100WA	20	25	20
WX15-PVLTi	D33 B100WC	20	25	20

## 1.6. Опис вибраної марки сталі

Основні відомості про сталь.

Сталь – це сплав заліза і вуглецю з вмістом вуглецю до 2,14%. Вуглець є основним компонентом, який визначає будову і властивості сталей. Чим більший вміст вуглецю в структурі тим сталь стає міцнішою і твердішою, але менш пластичною.

Для покращення механічних і фізико-хімічних властивостей в сталь вводять спеціальні легуючі елементи. До таких елементів належить хром, нікель, марганець, кремній та ін. Такі сталі називаються легованими.

Одним із видів легованих сталей є сталь підшипникова яка використовується для виготовлення деталей підшипника: кілець і роликів.

Для виготовлення кілець: (ОМ-Т7FC 095; ІМ-Т7FC 095; ОМ-Т7FC 085; ІМ-Т7FC 085) найбільш широке використання має сталь Grade3 на ПрАТ "СКФ Україна".

Хімічний склад сталей приведений в таблиці 1.3

Таблиця 1.3

у відсотках%

Марка сталі	Вуглець	Кремній	Марганець	Хром	Фосфор	Сірка
ШХ15	0,95 – 1,05	0,17 - 0,37	0,20 - 0,40	1,30 – 1,65	0,027	0,020
Grade3	0,93 – 1,05	0,15 - 0,35	0,25 - 0,45	1,35 – 1,60	0,025	0,025
100Cr6	0,93 – 1,05	0,15 - 0,35	0,25 - 0,45	1,35 – 1,60	0,025	0,015
ШХ15СГ (Grade24)	0,95 – 1,05	0,40 - 0,65	0,90 - 1,20	1,30 – 1,65	0,027	0,020

Позначення сталей такі:

Ш - шарикопідшипникова сталь;

Легуючі елементи:

X - хром;

C - кремній;

Г- марганець.

Ключові властивості сталі Grade3

Висока твердість — після загартування досягає 62–66 HRC;

Відмінна зносостійкість, що забезпечує довготривалу роботу деталей при терті;

Стійкість до ударних навантажень та вібрацій;

Стабільність розмірів і висока точність після обробки та термообробки;

Здатність зберігати механічні властивості при підвищених температурах.

Сфери застосування

Сталь Grade3 широко використовується у:

виробництві шарикопідшипників і роликотпідшипників — як для побутового, так і для промислового призначення;

точному машинобудуванні — валах, осьових вузлах, втулках, роликах;

інструментальній промисловості — для виготовлення калібрів, різців, вимірювальних інструментів;

автомобілебудуванні, авіації, приладобудуванні, де потрібна висока точність, довговічність і надійність деталей;

деталей, що працюють при високих швидкостях і температурах, зокрема у верстатах, турбінах, компресорах.

Технологічні переваги

Добре піддається термічній обробці, зокрема загартуванню, відпуску, нормалізації — це дозволяє досягти ідеального балансу між твердістю, міцністю та пружністю;

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Хороша оброблюваність у м'якому стані, з можливістю шліфування, полірування та обробки з високою точністю;

Можливість отримання високої чистоти поверхні, що критично для рухомих вузлів.

Переваги сталі Grade3

Надійність у тривалому циклі експлуатації;

Висока точність та стабільність розмірів після обробки;

Оптимальне поєднання ціна/якість для масового виробництва;

Універсальність у використанні — підходить як для великогабаритних, так і для мікромеханізмів.

### 1.7. Мета і задачі дипломної роботи

Метою роботи є дослідження впливу режимів термічної обробки, технологічних середовищ та властивостей вхідної заготовки на деталі конічних підшипників.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз результатів вхідного контролю, вимог споживача до продукції після ТО та розробити тимчасовий технологічний процес;
- проаналізувати результати отримані при застосуванні тимчасового технологічного процесу;
- надати пропозиції щодо модернізації технологічного обладнання;
- підібрати режим відпуску;
- розробити постійний технологічний процес.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ

#### 2.1. Аналіз результатів вхідного контролю

Вхідний контроль заготовки на підприємство включає в себе контроль документів та матеріалу.

В документах звіряється відповідність марки сталі, хімічний склад, номер плавки та партії. Також проводять візуальний контроль на наявність тріщин, чорнот, слідів корозії, раковин або заштамповки. Далі перевіряються геометричні параметри: діаметри, ширина кільця, овальність і конусність. Також проводиться контроль структури та твердості.

Аналіз вхідного контролю даної продукції показав, що марка сталі та її хімічний склад є відповідними, а також металографічні дослідження проведені в постачальника відповідають встановленим вимогам показано на рисунку 2.1 та рисунку 2.2.

Далі на рисунках 2.3 та 2.4. наведені приклади результатів металографічних досліджень які були проведені при вхідному контролі при надходженні заготовки на підприємство. По даних заключеннях видно, що заготовка є відповідною і її можна брати в роботу.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



**JINABAKUL FORGE PVT. LTD.  
BELGAUM-590 010.**

**METALLURGICAL TEST CERTIFICATE**

QR/MET/26  
REV: 01,01.25.04.2023

Part No	IM - T7FC 085 , OM - T7FC 085	Customer	S K.F LUTSK(Ukraine)	Date	10.02.2025
Material Grade	SKF GRADE 3	SNFGP Code	JUNBEL01	TC No	Y2827
Customer Spec.	D33 11H 2342 792 ED 03 2023-05.15	P.O No.	9310-7837 DT : 18.11.2024	Invoice No	UI 24-25/EXP00236
RM Supplier / Manuf. Route	KALYANI STEEL/COF-MF-VB-COMR-MIL	RM Heat No	K199022	Die. No	1113
RM TC No.	K199022	Maximum Two heats per supply	Qty	IR : 442 , OR : 442	

**Chemical Composition :**

NML Standard Sample Nos for %C = 20.02    %Cr = 21.2 )

Sl No.	Elements	Specification	JFPL Analysis	Status
01	Carbon %	0.93 TO 1.05	0.97	OK
02	Chromium %	1.35 TO 1.60	1.48	OK

**Metallurgical Tests : Inclusion Rating As per ( As per ISO 4967:1998 Method:A )**

Type	A		B		C		D	
	T	H	T	H	T	H	T	H
Spec (Maximum Limit)	2.0	1.5	1.5	0.5	0.0	0.0	1.0	0.5
IF Results	1.5	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	1.0	0.5
Status	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

**Microstructure :**

Description	Specified	Results	
Spheroidized Annealing As per SEP 1520:98)		Uniformly distributed globular carbides.	
Carbide Size As per SEP 1520:98)	CG : 2.1 to 2.3	2.2 / 2.3	
Carbide Network As per SEP 1520:98)	CN : 4.3 Max	4.2	
pearlite Amount As per SEP 1520:98)	PA : 3.1 Max	3.0	
Carbide Segregation As per SEP 1520:98)	CZ : 6.3 & 7.3/7.3B	6.2 / 7.2	
De-Carb : : 0.30	mm Max. as forged	Macro :OK      Spark Test :      OK	
Hardness of forged and Annealed ring in BHN / HBS	Specification	Actual	Remarks
	210 MAX	179,179,187,187	OK

**Remarks:**

- 1.Raw material Test certificates Attached.
- 2.Rings are 100% Magnetic Particle Inspected - Ok
3. Rings are 100% Eddy Current Grade Sorted - Ok

We hereby certify that the results are true and conforms to the referred material specification.

Manager Metallurgy

Рисунок 2.1 - Сертифікат точеного кільця

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

CUSTOMER: JINABAKUL FORGE PVT. LTD. ✓				Invoice No: 9033080750				PROCESS ROUTE				TC NO. K199022 DATE: 27.12.2024			
CUSTOMER SPECIFICATION NO				HEAT NO ✓				GRADE ✓				SECTION (IN mm)			
11H 2342 792, Edition: 03, 2023-05-15 11H 2342 777, Edition: 04, 2020-12-01				K199022				SKFRD3				70 ROUND			
								COLOR CODE				SUPPLY CONDITION			
								HALF (RED+YELLOW)				AS ROLLED			
												LENGTH (IN Meters)			
												3 TO 6 METERS			
												QUALITY (IN mm)			
												AS PER IS 3739			
												NO. OF PIECES			
												170			
												QUANTITY (MCS)			
												29.430			

CHEMICAL COMPOSITION																					
	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Mo	%Cr	%Cu	%Al	%Sn	%V	N ppm	O ppm	H <sub>2</sub> ppm	%Ti	Ca ppm	B ppm	%As	%Sb	%Pb
REQ	0.56/0.58/0.330/0.340	0.030/0.040	0.020/0.040	0.020/0.040	0.005/0.010	0.25/0.30	0.10/0.15	1.45/1.50	0.30/0.35	0.05/0.08			80/60	15/10	2.0/3.0	0.003/0.005	10.000/10.000		0.040/0.040		0.002/0.002
ACT	0.9640	0.3000	0.4130	0.0140	0.0040	0.0300	0.0090	1.4850	0.0060	0.0160	0.0010	0.0020	51.000	10.000	1.440	0.0020	1.0000	1.0000	0.0008	0.0002	0.0001

MECHANICAL PROPERTIES																							
	TENSILE VALUES				IMPACT STRENGTH (IZOD/CHARPY)	HARDNESS (BHN)	JOMINY VALUES (BRC)								D.I. VALUE								
	YS	UTS	%EL	%RA																			
REQ																							
ACT																							

METALLURGICAL PROPERTIES																
	SPARK/SPECTRAL TEST	STEP DOWN TEST	MACRO ETCH RESULTS (ASTM E-381)	INCLUSION RATING (ASTM - E - 45) Method 'A' Plate & Worst Fields								GRAIN SIZE (ASTM E-112)	SURFACE DEFECT LEVEL (mm)	CORE HARDNESS (OIL QUENCH) (HRC)	UPSET TEST RESULTS	TOTAL DEPTH OF DECARBURIZATION IN mm
				A		B		C		D						
				T	H	T	H	T	H	T	H					
REQ	OK	NA	C2R2S2Max	2.0	1.5	1.5	0.5	0.0	0.0	1.0	0.5	6 to 8	OK	NA	NA	0.56mm Max
ACT	OK	NA	<C2R2/52	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	7.0	OK	NA	NA	0.32

REMARKS: 1. BLOOM SIZE: 200x200MM2 REDUCTION RATIO: 1:17.46  
2. MPI TEST: 100% DONE & FOUND OK.  
3. REQ CN 3.7, ACT: 5.3, REQ CZ 6.3MM & 7.47 & 6.8MM, ACT: 6.2 & 7.30 & 6.8MM  
4. INCLUSION RATING AS PER ISO 4967(E) METHOD A  
5. MICROSTRUCTURE: OK. 6. BLUE FRACTURE TEST: OK AS PER SPEC

2. REQ DS: 1.5, ACT: 0.5, K SKF GP CODE: KALHOS01002  
9. DIMENSIONAL TOLERANCE/GT OF ROUNDNESS: AS PER B10000-7.1  
10. "MATERIAL IS FREE FROM RADIO ACTIVE ELEMENTS".  
11. STRAIGHTNESS: OK AS PER SKF STD. 7. REQ: 0.04/0.02+0.08/0.05 = 0.075 Max, ACT: 0.0011  
12. ULTRASONIC TEST: AUTO LIST 2MM FBH 100% DONE & FOUND OK.

PREPARED BY: QF.NO.HS / QA/ 19.01. DG.Rev.01 Dtd : 23.02.2015

AUTHORISED SIGNATORY: K. P. ...

Рисунок 2.2 – Сертифікат на метал

ПрАТ "СКФ Україна"  
Металографічна лабораторія  
Заключення  
23.04.2025 № 2/44

**МГЛ  
ВІДПОВІДАЄ**

Назва продукції	<u>DM-TYPE 085</u>	Внутр. № партії	<u>JB 2543</u>
Марка сталі	<u>Grade 3</u>	Плавка	<u>K 20.12.14</u>
Постачальник	<u>Юшма Траст</u>	Сертифікат	<u>K 20.12.14</u>

**Результати металографічного дослідження**

№ зразка	Твердість, HB	Перліт	Величина карбиду		Карбідна неоднорідність		Карбідна сітка
		PA	CG	CZ-6	CZ-7	CN-5	
1	<u>182</u>	<u>30</u>	<u>2.2-2.3</u>	<u>6.0</u>	<u>4.2</u>	<u>5.2</u>	
2	<u>187</u>	<u>3.0</u>	<u>2.2</u>	<u>6.0</u>	<u>4.2</u>	<u>5.2</u>	
допуск	макс 210	≤3.1	2.1-2.3	≤6.3	≤7.3	≤5.3	

Поверхневі дефекти: відсутні

Висновки: Відповідає нормам № 33 НН 2342 792  
№ 33 НН 2342 781

Рисунок 2.3 – Результати металографічного дослідження

ПрАТ "СКФ Україна"  
Металографічна лабораторія  
Заключення  
23.04.2025 № 2/115

МІЛ  
ВІДПОВІДАЄ

Назва продукції	<u>IN-TXFC 085</u>	Внутр. № партії	<u>JB 2542</u>
Марка сталі	<u>Grade 3</u>	Плавка	<u>K 2012.14</u>
Постачальник	<u>Юліана Таракан</u>	Сертифікат	<u>K 2012.14</u>

**Результати металографічного дослідження**

№ зразка	Твердість, HB	Перліт РА	Величина карбиду CG	Карбідна неоднорідність		Карбідна сітка CN-5
				CZ-6	CZ-7	
1	<u>189</u>	<u>3.0</u>	<u>2.2-2.3</u>	<u>6.0</u>	<u>4.2</u>	<u>5.2</u>
2	<u>189</u>	<u>3.0</u>	<u>2.2-2.3</u>	<u>6.0</u>	<u>4.3B</u>	<u>5.2</u>
допуск	макс 210	≤3.1	2.1-2.3	≤6.3	≤7.3	≤5.3

Поверхневі дефекти: відсутні

Висновки: Відповідає вимогам Д 33 НК 2342 482  
Д 33 НК 2342 481

Рисунок 2.4 – Результати металографічного дослідження

2.2. Аналіз вимог споживача до продукції після ТО та розробка тимчасового технологічного процесу

Аналіз вимог споживача виконують до запуску виробу та перед початком виробництва, щоб гарантувати відповідність продукції очікуванням покупця.

Аналіз вимог до термообробки – це один з ключових етапів, бо від нього залежить твердість, структура, залишковий аустеніт, зносостійкість, стабільність розмірів та відсутність тріщин.

Даний споживач до продукції після ТО ставить наступні вимоги:

- Мікроструктура  $MT \leq 4$ ;  $TN \leq 4$ ;  $TG \leq 4$ .
- Знеуглецювання до 0.02мм.
- Зона чистого фериту не допускається
- Твердість після гартівки не менше 63-64 HRC

- Твердість після відпуску 58-62 HRC
- Розмірна стабільність +15µm/100mm.
- Залишковий аустеніт ≤3%

Провівши аналіз вимог споживача, було зроблено висновки, що наявне технологічне обладнання (печі) дозволяють забезпечити задані допуски. Існує підвищений ризик отримати структуру недогріву та невідповідність вимогам до залишкового аустеніту через велику товщину перерізу кільця. Прийнято рішення проводити попередні пробні гартування та підібрати оптимальний цикл, інакше існує ймовірність нестабільності мікроструктури та розмірної стабільності. Усі проаналізовані вимоги можуть бути виконані при відповідному технологічному контролі.

Відповідно до даних рішень розроблено тимчасовий технологічного процесу. Параметри якого вказані на рисунку 2.5

SKF		ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС термічної обробки (тимчасовий)											01250.00098			
Прат"СКФ Україна"		КАРТА ПЕРЕБІГУ ПРОЦЕСУ											59250.00149			
Розробив	Корнілова	20.01.25													Аркуш:1 Аркушів: 2	
Перевірив	Корнілова	20.01.25														
Погодив	Салата															
Затвердив	Баран			Кільця конічні Aichelin ALD-1B											1412	
Операція	Назва	Завантаження	Нагрів під гартування	Гартування	Промивка	Зачистка торців	Контроль твердості	Контроль мікроструктури, знеуглецювання	Відпуск	Розвантаження	Зачистка торців	Контроль твердості	Контроль мікроструктури, знеуглецювання	Контроль неспівмірності конусності	Контроль на тріщини	
	№	010	015	020	025	030	035	040	045	050	055	060	065	070	075	
Обладнання	Стіл завантаження	Піч DRES-60-/750	Гартувальна ванна	EDS-2T 80/12	Верстат 3E881M	Твердомір Роквелла	Мікроскоп	DHLE 300-80/600	Стіл розвантаження	Верстат 3E881M	Твердомір Роквелла	Мікроскоп	ДЗ12-2М ДЗ13-2М УД-1В УД-2В	Дефектоскоп КД-20П		
Класи характеристик		SC				SC					SC					
Блок -схема перебігу процесу																
Режими обробки		T1= 870°C±20°C T2= 860°C±20°C T3= 860°C±20°C	Охолодження на платформі. Температура гартувальної оливи 70°C-130°C.	Температура миючого розчину: T= 15-45 °C Концентрація миючого розчину 2-6 %		Твердість не менше 63-64 HRC	Зона чистого фериту не допускається	Температура відпуску T1= 150°C-175°C T2= 150°C-175°C T3= 150°C-175°C Час відпуску 120-180 хв	Розвантаження кільця після відпуску проводити вручну з стола розвантаження		Твердість 58-62 HRC	Зона чистого фериту не допускається		Тріщини не допускається		
Оснастка (середовище, матеріали)		Атмосфера. Подача азоту 25-45л/год природного газу 0,8-3,0л/год	Олива гартувальна Mag-Temp H 340	Миючий розчин CIMTUBE H14FF	Шкурка шліфувальна P60			Атмосферне повітря	Тара для кільця	Шкурка шліфувальна P60						
План контролю якості	59250.00150															
Умовні позначення	○ - операція    □ - контроль оператором    L - контроль оператором → - транспортні зв'язки в автоматичній лінії    ⇨ - транспортування    SC - важливі характеристики															
Інв.№ правд.	Підпис		Дата												20.01.25	

Рисунок 2.5 – Тимчасовий технологічний процес

					MP 1225.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						31

2.3. Аналіз результатів отриманих при застосуванні тимчасового технологічного процесу.

Метою аналізу результатів отриманих при застосуванні тимчасового технологічного процесу є:

Оцінка ефективності тимчасового технологічного процесу на даній продукції;

Виявити причини можливих відхилень;

Розробити рекомендації для корекції технології

При проведенні попередніх пробних гартувань були отримано такі результати, які показані на рисунках 2.6 та 2.7

IM - T7FC085								
	Heating for hardening		Hardening			Tempering		
1	880/880/880	55min	MT 4-5	TG 5	TN 5	MS 5	TG 5	TN 4
2	885/885/880	45min	MS 5	TG 5	TN 5	MS 5	TG 5	TN 4
3	870/860/860/	65min ШТВ	MT 4-5	TG 4-5	TN 4	MS 4-5	TG 5	TN 4-5
4	870/860/860/	65min ШТН	MT 4-5	TG 4-5	TN 4-5	MS 4	TG 4-5	TN 4-5
5	860/850/850	75min	MT 4	TG 5-6	TN 5	MS 4	TG 5-6	TN 4-5

Рисунок 2.6 – Отримані результати по внутрішньому кільцю

OM - T7FC085									
	Шліф r	Heating for hardening		Hardening			Tempering		
1	15/174	875/875/867	50 min	MT 4-5	TG 3	TN 2-3	MT 4-5	TG 3	TN 2-3
2	15/175	870/870/867	45 min	MT 4	TG 4-5	TN 4	MT 5	TG 4-5	TN 3-4
3	15/177	870/870/867	50 min	MT 5	TG 4-5	TN 4	MT 5	TG 4-5	TN 3-4
4	15/205	870/870/867	47 min	MT 4	TG 3-4	TN 3-4	MS 4-5	TG 3	TN 3
5	15/208	870/870/860	47 min	MT 4	TG 3-4	TN 3-4	MS 4-5	TG 3-4	TN 3-4

Рисунок 2.7 – Отримані результати по зовнішньому кільцю

Приклади структур за межами поля допуску які були отримані при пробних гартуваннях.

Отже можна зробити висновки, що тимчасовий технологічний процес не забезпечує необхідну мікроструктуру. Отримання одночасно структури перегріву (рисунок 2.8) та трооститних структур – структури недогріву (рисунок 2.9) за межами допуску унеможливорює застосування параметрів налагодження запропонованих у тимчасовому технологічному процесі. Дана ситуація вимагає проведення додаткових досліджень вхідної заготовки.



Рисунок 2.8 – Приклад структури перегріву (мартенсит MS5) x1000

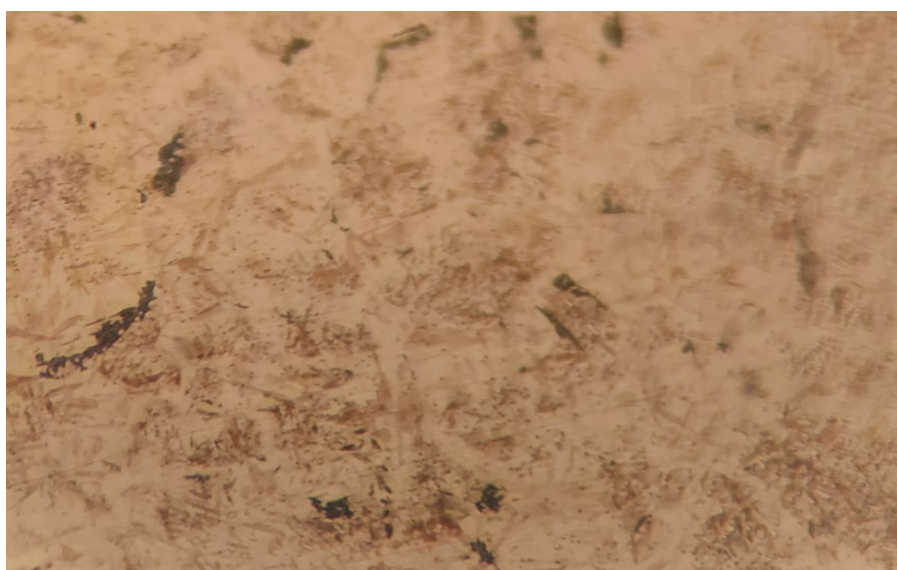


Рисунок 2.9. – Приклад трооститних структур (тростит TN5) x1000

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час проведення даних досліджень було виявлено додатковий фактор, що впливає на перерозподіл вуглецю. А саме наявність сегрегацій карбідів показано на рисунку 2.10

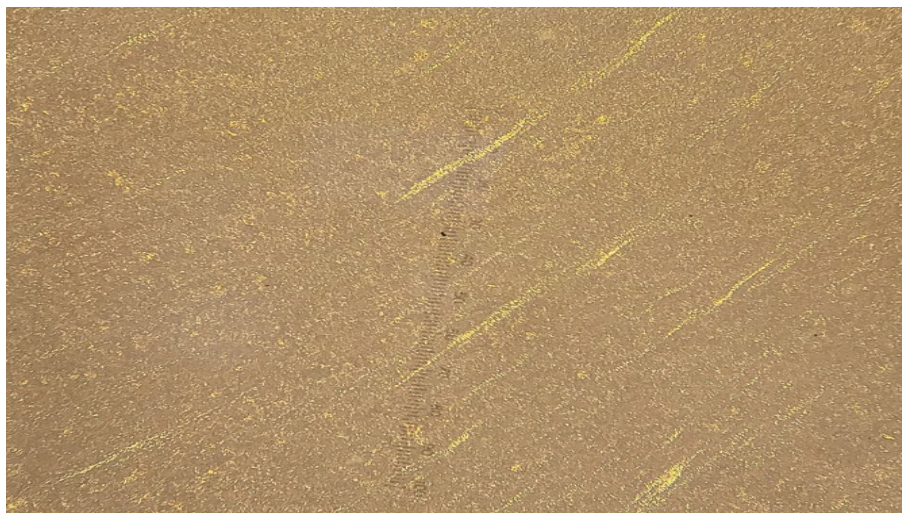


Рисунок 2.10. – Приклад сегрегації карбідів x200

#### 2.4. Пропозиції щодо покращення мікроструктури.

З найбільшою ймовірністю можна припустити, що дані сегрегації містять у собі первинні карбіди (металургійного походження). Для рівномірного насичення аустеніту необхідно вжити заходів для максимального розчинення даних карбідів. А саме підвищити температуру та час аустенізації. Та збільшити температуру гартувального середовища до 120°C, що збільшить швидкість охолодження та забезпечить гарантоване отримання мартенситних структур необхідної дисперсності.

Підвищення температури аустенізації понад 880°C є доцільним з огляду на необхідність максимального розчинення первинних карбідів. За підвищених температур інтенсивність дифузійних процесів зростає, що сприяє більш рівномірному насиченню аустеніту вуглецем та зменшенню частки нерозчинених карбідних фаз. Разом з тим, вибрана температура не перевищує критичної межі, за якої можливе надмірне укрупнення зерна, тому забезпечує оптимальний баланс між розчиненням карбідів і стабільністю структури.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищення температури гартувальної оливи до 120°C є типовим прийомом для гартування товстостінних деталей. Це робиться не випадково – саме в межах 100...130°C олива дає оптимальну зміну кривої охолодження (рисунк 2.11). При даній температурі в'язкість оливи зменшена → циркуляція покращена → але охолодження досі достатньо швидке, щоб отримати мартенсит.

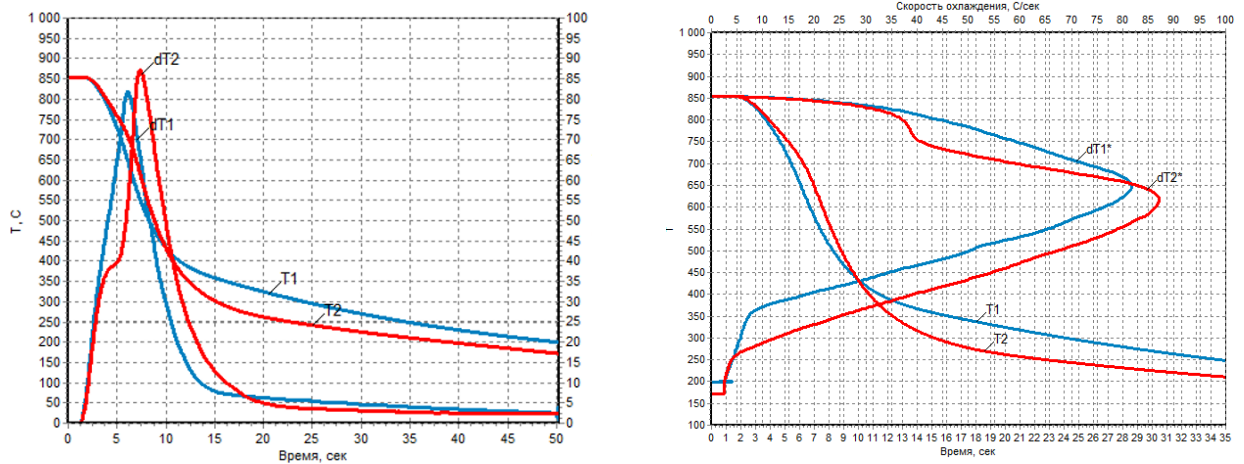


Рисунок 2.11 Криві охолодження

При проведенні попередніх пробних гартувань після коригування тимчасового технологічного процесу отримали наступні результати (показано на рисунках 2.12 – 2.15).

IM - T7FC085									
	Heating for hardening		Hardening			Tempering			Hardness, HRC
1	885/885/890	45min	MT 4	TG 6	TN 5	MS 4-5	TG 4	TN 3	62,3
2	900/900/900	50min	MT 4-5	TG 4	TN 4-5	MS 5	TG 4	TN 3-4	62,6
3	900/900/860	55min	MT 4	TG 5	TN 5	MS 4	TG 4-5	TN 4-5	62
4	900/900/900	60min	MT 5	TG 3-4	TN 3-4	MS 5	TG 3	TN 3	62,5
5	900/900/865	55min	MT 4-5	TG 4-5	TN 5	MS 4	TG 4	TN 4	62,5

Рисунок 2.12. – Отримані результати по внутрішньому кільцю

OM - T7FC085									
	Heating for hardening		Hardening			Tempering			Hardness, HRC
1	900/900/860	50min	MT 4	TG 5	TN 5	MS 4	TG 4-5	TN 4-5	62,5
2	900/900/900	50min	MT 4-5	TG 4-5	TN 5	MS 4-5	TG 4	TN 3	62,5
3	885/885/890	55min	MT 4	TG 6	TN 5	MS 4-5	TG 4	TN 3	62,3
4	885/885/890	50min	MT 4	TG 5	TN 5	MS 4	TG 4-5	TN 4-5	62
5	880/890/880	55min	MT 4	TG 4	TN 3	MT 4	TG 4	TN 3	62,3

Рисунок 2.13. – Отримані результати по зовнішньому кільцю



Рисунок 2.14. – Приклад троститних структур (тростит TN2) x1000

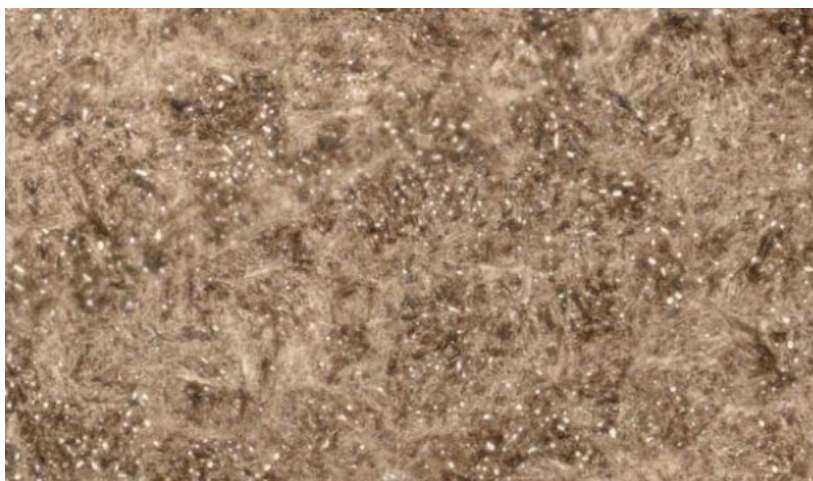


Рисунок 2.15. – Приклад мартенситних структур (мартенсит МТ4) x1000

Проведення коригування параметрів термічної обробки дозволило усунути відхилення мікроструктури, зменшити кількість нерозчинених карбідів та забезпечити стабільне формування дрібнозернистого голчастого мартенситу.

## 2.5. Дослідження розмірної стабільності

В процесі проведення подальших випробування було виявлено невідповідність по розмірній стабільності показано на рисунок 2.16.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

OM-T7FC 085

Outer diameter (D) - 170 mm

Heat number - K199022

Material - Grade 3

Ring number	before tempering		The temperature of tempering	after tempering		Change in average diameter D2-D1, mm	Growth of the ring (D2-D1)/D1×10 <sup>3</sup> (µm/100mm)	Average value of growth of ring, µm/100mm	Limit of change in diameter acc. to SKF S&P D32, µm/100mm
	Hardness, HRC SC	Outer diameter (average), D1, mm		Hardness, HRC SC	Outer diameter (average), D2, mm				
1	63.1	169.9955	230°C	58.8	170.0735	0.078	70.0	67.54	+60
2	63.2	169.991		60.0	170.072	0.081	73.6		
3	62.8	169.9895		60.0	170.061	0.0715	65.0		
4	62.2	169.991		60.2	170.0635	0.0725	66.0		
5	62.6	169.9915		59.8	170.061	0.0695	63.2		

verage value of growth of rings don not conform to the requirements of S&P D32

Report prepared by:



Marchuk T.A.



Рисунок 2.16. – Результати розмірної стабільності.

Розмірна стабільність – це критично важлива властивість матеріалу та виробу, яка визначає його здатність зберігати задані геометричні параметри протягом тривалого часу експлуатації або зберігання, особливо під впливом температури та навантажень.

Для підшипникових сталей це є ключовим показником, оскільки будь-яка зміна розмірів може призвести до:

Зміни монтажних натягів.

Збільшення внутрішніх напружень.

Порушення заданих зазорів і, як наслідок, зниження точності, підвищення шуму та передчасного руйнування підшипника.

Для дослідження розмірної стабільності заміряють твєдість на зразках та визначають середній діаметр кожного кільця, як середнє арифметичне між найбільшим та найменшим виміряними значеннями, з точністю до 0,001 mm. результати вимірювань заносять в карту. Далі проводять повторний відпуск при 230...235°C протягом 4 годин з наступним охолодженням на повітрі.

						MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			37

Вимірювання після відпуску проводяться не раніше, як через чотири години після вивантаження кілець з печі за тими ж методиками. Всі отримані дані фіксуються в карту. Далі проводиться обробка результатів вимірювань - визначається зміна середнього діаметру кожного кільця, як різниця середніх вимірних діаметрів після та до відпуску в міліметрах, визначається ріст чи зменшення кожного кільця, приведеного до діаметру 100 мм, за формулою:

$$S = \frac{D_2 - D_1 (mm)}{D_1 (mm)} \times 10^5 (mkm/100mm)$$

Невідповідність розмірної стабільності в підшипникових кільцях, які пройшли термічну обробку, практично завжди пов'язана з нестабільністю мікроструктури, а саме — з наявністю залишкового аустеніту.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Виходячи з цього було прийнято рішення про модернізацію - встановити до існуючої мийки додаткову систему охолодження миючої рідини (чіллер) показано на рисунку 3.2



Рисунок 3.2 – Чіллер

Після встановлення системи охолодження для того щоб переконатися, що продукція охолоджується шляхом проходження через холодну мийку рівномірно по всьому перерізу було вмонтовано термопару в кільце показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Кільце з термопарою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 1225.00.000 ПЗ

Арк.

40

Дане кільце нагрівалось до температури 120°C (імітація температури гартованого кільця після виходу з маслобаку) та проходило холодну мийку з температурою 1°C. По даних термопари кільце по всьому перерізу охолodилося до 5°C. Для досягнення кращого результату по охолодженню було змінено швидкість проходження кільця через холодну мийку. Та досягнуто температури 3°C по всьому перерізу.

Результати даного дослідження виявились задовільними. На даному етапі залишилось ще скоригувати твердість, так як після гартування та відпуску деталей по тимчасовому технологічному процесу отримана твердість становить вище 62 HRC. Було обговорено можливість коригування режимів відпуску.

### 3.2. Підбір режиму відпуску

Відпуск є ключовою завершальною операцією термічної обробки. Гартування забезпечує максимальну твердість і міцність, але робить метал крихким і наповненим внутрішніми напруженнями. Відпуск призначений для того, щоб усунути ці небажані наслідки, зберігаючи при цьому переваги гартування. Відпуск проводиться для досягнення таких ключових цілей:

- Зменшення твердості (крихкості) та підвищення в'язкості (пластичності). Структура мартенситу, утворена при гартуванні, є дуже твердою, але надзвичайно крихкою. Відпуск змінює мікроструктуру мартенситу, роблячи сталь більш в'язкою (здатною поглинати енергію удару без руйнування) та пластичною (здатною до деформації). Це критично важливо для деталей, що працюють під ударними та циклічними навантаженнями.

- Зняття внутрішніх напружень. Гартування (швидке охолодження) викликає нерівномірне перетворення структури металу та значні внутрішні залишкові напруження. Ці напруження можуть призвести до самовільного розтріскування або деформації деталі (викривлення) навіть при невеликих

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

навантаженнях. Відпуск дозволяє цим напруженням зменшитися без втрати форми.

- Стабілізація розмірів. Відпуск використовується для перетворення залишкового аустеніту він впливає на найменш стабільний залишковий аустеніт, але не є основним і найефективнішим методом його повного усунення. Це запобігає неконтрольованій зміні розмірів деталі під час її експлуатації, забезпечуючи надійність.

Контролюючи температуру відпуску та час, можна встановлювати необхідний баланс між твердістю (міцністю) та в'язкістю (пластичністю) сталі також зняти внутрішні напруження.

Спираючись на вищесказану інформацію про відпуск, було скориговано його температуру, піднято до 210...230°C та час витримки при цій температурі збільшено до 240...245 хв.

### 3.3. Результати проведеної модернізації обладнання

Після проведення коригувань з охолодженням кілець в мийці та зміною режиму відпуску було проведено пробне гартування. Та повторний розрахунок розмірної стабільності. Яке принесло хороші результати дивитись рисунки 3.4 – 3.5.

OM-T7FC 085

Outer diameter (D) - 170 mm

Heat number - K199022

Material - Grade 3

Ring number	before tempering		The temperature of tempering	after tempering		Change in average diameter D2-D1, mm	Growth of the ring (D2-D1)/D1×10 <sup>5</sup> (µm/100mm)	Average value of growth of ring, µm/100mm	Limit of change in diameter acc. to SKF Standard 1060000e, µm/100mm
	Hardness, HRC SC	Outer diameter (average), D1, mm		Hardness, HRC SC	Outer diameter (average), D2, mm				
1	59.8	169.9955	230°C	59.5	169.995	-0.0005	-0.29	0.47	+15
2	59.9	169.991		59.2	169.99	-0.001	-0.59		
3	59.8	169.9895		59.2	169.99	0.0005	0.29		
4	59.8	169.991		59.3	169.9905	-0.0005	-0.29		
5	59.7	169.9915		59.5	169.993	0.0015	0.88		

Average value of growth of rings conform to the requirements of Standard 10600000e

Рисунок 3.4 – Результати розмірної стабільності кільця OR-T7FC 085

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

OR-T7FC 095/PEXCL7C

Outer diameter (D) - 180 mm

Heat number - K199306

Material - Grade 3

Ring number	before tempering		The temperature of tempering	after tempering		Change in average diameter D2-D1, mm	Growth of the ring (D2-D1)/D1×10 <sup>5</sup> (μm/100mm)	Average value of growth of ring, μm/100mm	Limit of change in diameter acc. to SKF Standard 1060000e, μm/100mm
	Hardness, HRC SC	Outer diameter (average), D1, mm		Hardness, HRC SC	Outer diameter (average), D2, mm				
1	59.8	179.988	230°C	59.7	179.985	-0.003	-1.67	0.5	+15
2	60.0	179.9865		59.8	179.9875	0.001	0.55		
3	60.1	179.9975		59.9	179.9975	0	0		
4	60.0	179.996		60.0	179.996	0	0		
5	59.9	179.986		59.8	179.9865	0.0005	0.28		

Average value of growth of rings conform to the requirements of Standard 1060000e

### Рисунок 3.5 – Результати розмірної стабільності кільця OR-T7FC 095

Також на даних рисунках видно, що ціль по твердості досягнуто. Зразки мають твердість 59...60 HRC

Можна зробити висновок, що проведені коригувальні заходи були вірними, майже повне перетворення аустеніту гарантує високу розмірну стабільність кільця навіть при роботі в умовах підвищеної температури.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА ПОСТІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

На основі всіх вище зазначених випробувань було розроблено новий постійний технологічний процес. Який складається з трьох частин: карти перебігу процесу (рисунок 4.1), карти допусків (рисунок 4.2) та карти режимів (рисунок 4.3).

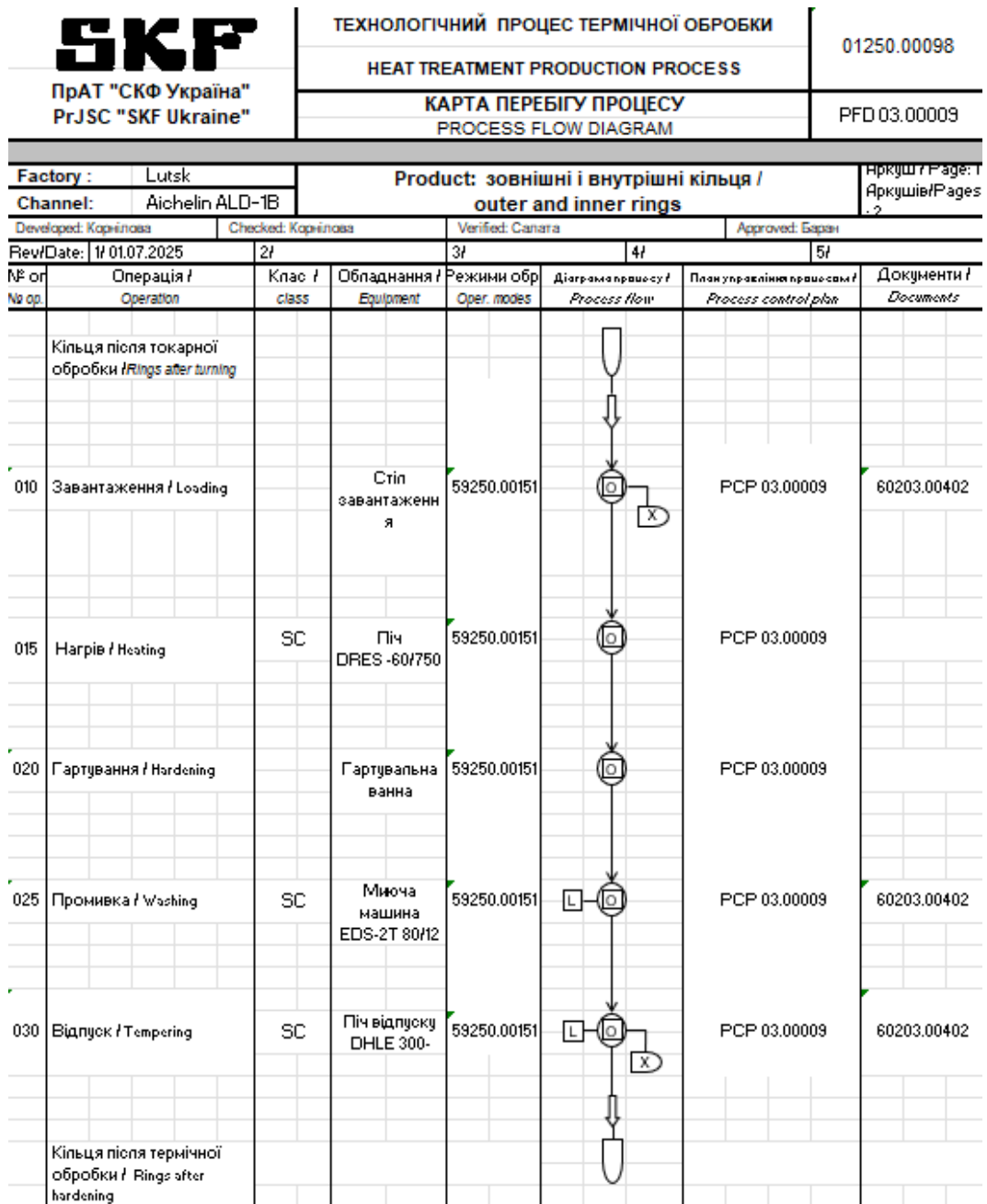


Рисунок 4.1 – Карта перебігу процесу



## ВИСНОВКИ

Вдосконалений технологічний процес успішно вирішив завдання формування оптимальної мікроструктури, що є основою для високої твердості та зносостійкості.

Усунено відхилення мікроструктури, зменшення кількості нерозчинених карбідів та забезпечено стабільного формування дрібнозернистого голчастого мартенситу.

Зменшено твердість (крихкості) та підвищення в'язкості (пластичності), що критично важливо для деталей, що працюють під ударними та циклічними навантаженнями.

Знято внутрішні напруження та досягнута відповідна розмірна стабільність за рахунок розпаду залишкового аустеніту.

Також впровадження даного техпроцесу зробило можливим отримання нового бізнесу з одним із найбільших споживачів індустріального ринку підшипників. Збільшити на 30% загальний об'єм продажу. Використати стандартну підшипникову, а не кремній-марганцеву сталь, що дозволило зменшити затрати на вхідну сировину на 20%.

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

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

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

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

15. Устаткування процесів теплової обробки : Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітніх програм «Матеріалознавство», «Індустріальний інжиніринг» спеціальності G8 Матеріалознавство галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво денної та заочної форм навчання / уклад. С.В. Мисковець, Д.А. Гусачук. Луцьк : ЛНТУ, 2025. 40 с.

16. Устаткування процесів теплової обробки : Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітніх програм «Матеріалознавство», «Індустріальний інжиніринг» спеціальності G8 Матеріалознавство галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво денної та заочної форм навчання / уклад. С.В. Мисковець, Д.А. Гусачук. Луцьк : ЛНТУ, 2025. 100 с.

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

18. Кривуля О. М. Аналіз показників якості зубчатих коліс / Кривуля О. М. // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Electronic Devices» (ADED-2020) збірник студентських наукових статей (Випуск 2) – Харків: ХНУРЕ, 2020. – С. 48-52.

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

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

					MP 1225.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49