

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Вибір матеріалу та технології зміцнення для забезпечення
зносостійкості підшипників кочення»

Рівень вищої освіти бакалавр
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
Освітня програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр: КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ

Виконав студент 4-го курсу
група МТВА 21-1
Шифр


Підпис

Максим ВОЙЦЕХІВСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання


Підпис

Ольга ДРОБОТ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтроль к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання


Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Підпис


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10.06.25

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра технології, автомобіля та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механіка інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобіля

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ

 Дичка О.В.
2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

ВОЙЦЕХІВСЬКОМУ МАКСИМУ ВІТАЛІЙОВИЧУ

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: **«Вибір матеріалу та технології зміцнення для забезпечення зносостійкості підшипників кочення»**

керівник роботи: Дробот Ольга Савівна, доцент каф. ТАМ

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 7.02.2025 р. № 23 (Д.14)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, робіт, практики.

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

1. Аналіз вихідних даних та відомих технічних рішень; 2. Аналіз технологічного процесу виготовлення деталей підшипників кочення; 3. Обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення кульок підшипників кочення та технології зміцнення; 4. Дослідження структури та властивостей готових деталей; 5. Безпека та екологічність проєктного технологічного процесу.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|-------------------|---------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 8.02 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва розділу кваліфікаційної роботи | Строк виконання | Примітка |
|-------|--|-----------------|----------|
| 1 | Літературний огляд | 20.05.2025 | вик |
| 2 | Технологічний розділ | 25.05.2025 | вик |
| 3 | Експериментальна частина | 30.05.2025 | вик |
| 4 | Оформлення розрахунково-пояснювальної записки | 2.06.2025 | вик |
| 5 | Оформлення презентації кваліфікаційної роботи | 5.06.2025 | вик |
| 6 | Нормоконтроль кваліфікаційної роботи | 9.06.2025 | вик |
| 7 | Підписання розділів. Затвердження дати захисту | 10.06.2025 | |

Студент


Підпис

Максим ВОЙЦЕХІВСЬКИЙ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Ольга ДРОБОТ

| | | ЗМІСТ | | |
|--|-----------|--|--------------------|------|
| ВСТУП | | | | 6 |
| РОЗДІЛ 1. БУДОВА ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ПІДШИПНИКІВ | | | | 7 |
| 1.1. Підшипники ковзання | | | | 7 |
| 1.2. Підшипники кочення | | | | 7 |
| 1.3. Підшипник маточини автомобіля | | | | 11 |
| 1.3.1. Призначення маточини колеса | | | | 11 |
| 1.3.2. Будова та призначення підшипника маточини | | | | 12 |
| 1.3.3. Несправності підшипника | | | | 14 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ТА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НИХ | | | | 15 |
| 2.1. Виготовление деталей підшипників кочення | | | | 15 |
| 2.1.1. Суть прокатного виробництва. | | | | 16 |
| 2.1.2. Одержання кульок поперечно-гвинтовою прокаткою | | | | 17 |
| 2.1.3. Одержання кульок на ковальсько – пресових холодно висадочних автоматах | | | | 18 |
| 2.1.4. Технологія виготовлення кульок на холодно-висадочному автоматі | | | | 19 |
| 2.1.5. Виготовление керамічних тіл кочення | | | | 20 |
| 2.1.6. Виготовление кілець | | | | 21 |
| 2.1.7. Виготовление сепараторів | | | | 21 |
| 2.2. Матеріали для деталей підшипників | | | | 25 |
| 2.2.1. Матеріали для кілець та тіл кочення | | | | 25 |
| 2.2.2. Матеріали для сепараторів підшипників | | | | 28 |
| 2.3. Новітні матеріали для підшипників | | | | 29 |
| 2.3.1. Керамічні матеріали | | | | 29 |
| КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | | | | |
| Зм | Арк | № Докум | Підпис | Дата |
| Виконав | Володимир | Дробот | <i>[Signature]</i> | |
| Перевір | Бабак | Діха | <i>[Signature]</i> | |
| Н.контр. | Бабак | Діха | <i>[Signature]</i> | |
| Ватвер | Діха | | | |
| | | Вибір матеріалу та технології зміненої для забезпечення зносостійкості підшипників кочення | | |
| Літера | Аркуш | Аркушів | | |
| | 4 | 71 | | |
| ХНУ МТВА-21-1 | | | | |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.2. Гібридні керамічні підшипники | 30 |
| 2.4 . Термічна обробка деталей підшипників | 30 |
| РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА | 33 |
| 3.1. Вибір матеріалу деталей підшипника | 33 |
| 3.2. Вибір способу одержання кілець та кульок для підшипника | 45 |
| 3.3. Розробка режимів термічної обробки деталей підшипника | 47 |
| 3.3.1. Обґрунтування вибраного режиму | 47 |
| 3.3.2. Вибір способу нагрівання | 47 |
| 3.3.3. Вибір охолоджувального середовища | 51 |
| 3.3.4. Відпуск деталей підшипника | 54 |
| 3.4. Методи та прилади для контролю якості термічної обробки | 57 |
| РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИНИ АВТОМОБІЛЯ | 63 |
| ВИСНОВКИ | 68 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 69 |
| ДОДАТКИ | 71 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 5 |

ВСТУП

Підшипник — це технічний пристрій, який є частиною опори, що підтримує вал, вісь або іншу конструкцію, фіксує положення в просторі, забезпечує обертання, коливання або лінійне переміщення з найменшим опором, сприймає та передає навантаження на інші частини конструкції.

Підшипники мають утримувати вал в просторі, забезпечувати обертання, качання чи лінійне переміщення з мінімальними енергозатратами. Від якості підшипників залежить коефіцієнт корисної дії, працездатність та довговічність машини.

Підшипники – це широко застосовувані в автомобілях вузли, без яких окремі компоненти і цілі системи не могли б функціонувати. Конструктори використовують їх, наприклад, у коробці передач, маточинах колес, приводі осей, у двигуні: на підшипники спирається колінчастий вал.

Підшипники кочення застосовують у вузлах ведучого моста автомобіля, для передачі крутного моменту; у вузлах ведучої шестерні та диференціалу, а також підвіски (амортизаторні стійки) і системи кермового управління.

Підшипники ковзання використовуються у газорозподільному механізмі, у чотиритактних двигунах. Підшипники, що застосовують у двигунах розраховані на весь термін служби автомобіля.

В техніці використовують підшипники контактні (які мають поверхні тертя), це - підшипники кочення, підшипники ковзання та безконтактні (які не мають поверхонь тертя) – магнітні підшипники.

За видом тертя розрізняють :

- **підшипники ковзання**, в яких опорна поверхня осі чи валу ковзає по робочій поверхні підшипника;
- **підшипники кочення**, в яких використовується тертя кочення завдяки наявності кульок чи роликів між рухомим і нерухомим кільцями підшипника.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 6 |

РОЗДІЛ 1. БУДОВА ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ПІДШИПНИКІВ

1.1. Підшипники ковзання

Підшипник ковзання працює за принципом обертання втулки. Підшипники ковзання працюють за умови мінімального тертя контактних поверхонь внутрішнього і зовнішнього кільця. Основу конструкції такого підшипника складають два сталевих кільця, третій елемент - вкладиш з антифрикційного матеріалу, забезпечує необхідні якості ковзання. Парні контактні поверхні утворюють контактні пари з різними характеристиками.

Сферична контактна поверхня дозволяє шарнірному підшипнику ковзання направляти вал зі значними відхиленнями від співвісності і кутом відносно корпусу.

Підшипники ковзання стійкі до значних вібрацій, ударів при високих радіально-осьових навантаженнях.

Завдяки цим властивостям такі підшипники широко використовують у вузлах транспортних, промислових машин та автомобілях [1].

1.2. Підшипники кочення

Підшипники кочення є елементом опор осей, валів та інших деталей, які працюють за принципом тертя кочення (рис. 1.1). Підшипник кочення являє собою кільце, в яке вставлена циліндрична обойма. Обертання обойми щодо зовнішнього кільця забезпечується тілами кочення - кульками або роликами. У більшості моделей ці тіла кочення відокремлені один від одного за допомогою сепаратора (для зменшення зносу). Обойма запресовується на вал і обертається з ним, як одне ціле.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

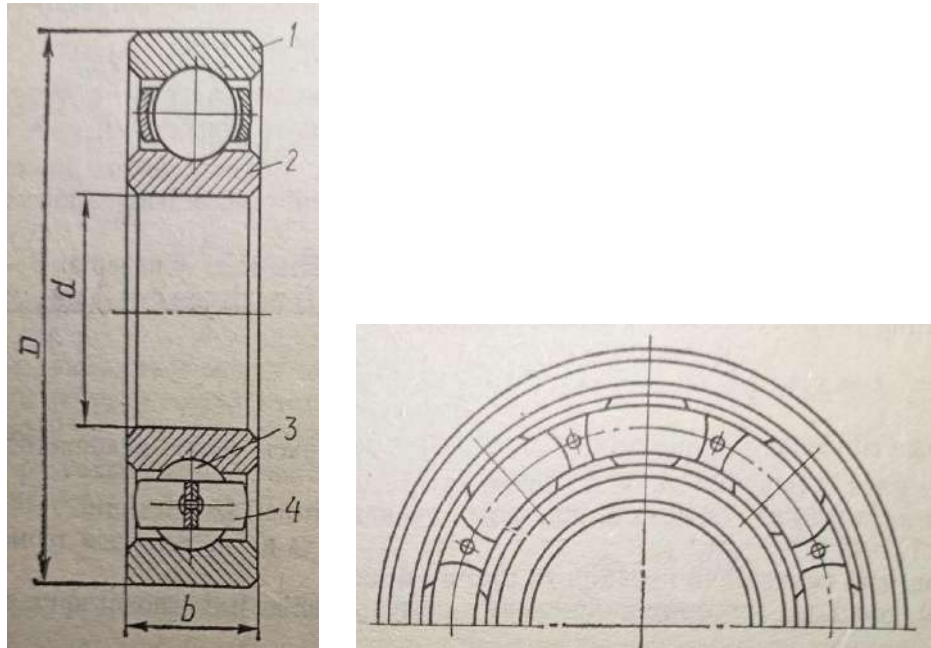


Рисунок 1.1 – Підшипник кочення:

- 1 – зовнішнє кільце; 2 – внутрішнє кільце; 3 – тіла кочення;
4 – сепаратор

Підшипник кочення складається із зовнішнього і внутрішнього кілець, тіл кочення і сепаратора. Внутрішнім кільцем підшипник розміщують на валу чи осі, а зовнішнім – у корпусі опори. Відносно обертання внутрішнього кільця відносно зовнішнього забезпечується за рахунок тіл кочення між кільцями. Тіла кочення перекочуються по доріжкам кочення (біговим доріжкам), які передбачені на зовнішньому та внутрішньому кільцях підшипника. Сепаратор розділяє тіла кочення і утримує їх на однаковій відстані. Підшипники кочення є основним видом опор у машинах. Світовий обсяг випуску підшипників кочення сягає мільярдів штук на рік. Кількість типорозмірів близька до 20 000, а діапазон зовнішніх діаметрів від 1 мм до 3 м і масою від 0,5 г до 7 т [2].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Таке широке використання підшипників кочення для опор різних обертових деталей обумовлене деякими їхніми перевагами у порівнянні з іншими видами опор. Переваги в наступному:

- малі витрати на тертя, що забезпечує високий ККД опор (до 99%);
- висока несуча здатність;
- малі габаритні розміри в осьовому напрямі;
- незначні витрати мастильних матеріалів;
- невисокі вимоги до матеріалу та якості поверхонь цапф, валів і осей, що розміщуються у підшипниках кочення.

До недоліків цього виду деталей належать такі:

- значні діаметральні габаритні розміри;
- обмежений строк служби, особливо при великих навантаженнях та швидкостях;
- низька здатність демпфувати ударні навантаження;
- підвищений рівень шуму при високих швидкостях обертання.
- велика вага;
- чутливість до ударних навантажень;
- слабка стійкість до вібрації (до того ж вони самі є генератором вібрації).

Підшипники кочення поділяються за формою тіл кочення на кулькові та роликові. Основні форми тіл кочення показані на рис 1.2

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

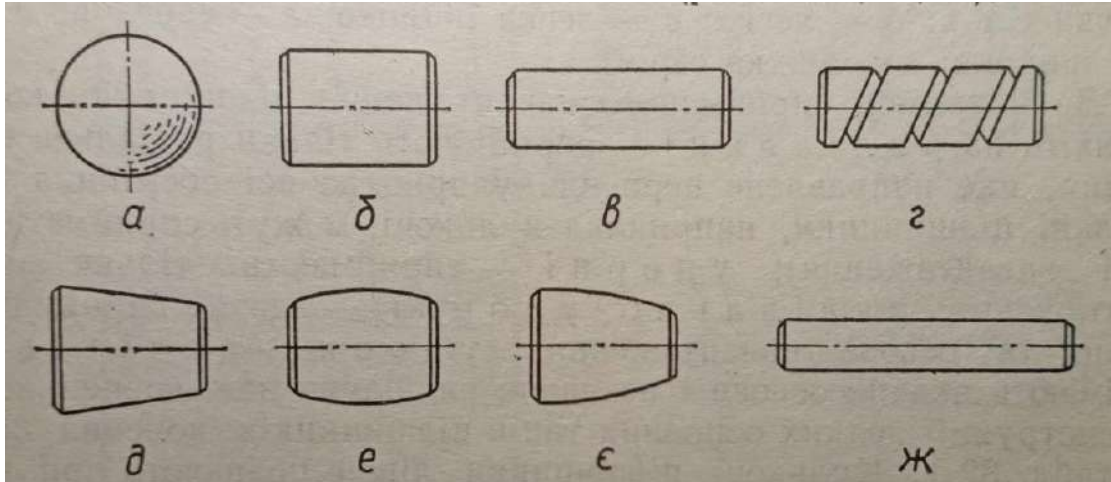


Рисунок 1.2 – Форма тіл кочення у підшипниках:

а – кульки; б , в – довгі ролики; г – виті ролики; д – конічні ролики; е , е – бочкоподібні ролики; ж – голчасті ролики

За числом рядів тіл кочення підшипники бувають одно -, дво - і чотирирядні.

Кулькові підшипники краще працюють при підвищених швидкостях обертання, вони менш чутливі до перекосів. Роликові підшипники мають більш високу вантажність (майже на 70 -100%) порівняно з кульковими.

Підшипники кочення працюють переважно на тертя кочення (є тільки невеликі втрати на тертя ковзання між сепаратором і тілами кочення), тому в порівнянні з підшипниками ковзання знижуються втрати енергії на тертя та зменшується зношування [3].



Рисунок 1.3 - Різновиди підшипників

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

Класифікують підшипники за такими ознаками:

1) напрямком сприйманого навантаження по відношенню до осі вала;

За цією ознакою вони поділяються на:

радіальні підшипники, що сприймають виключно радіальне навантаження;

радіально-упорні підшипники, здатні сприймати комбіновані навантаження, тобто радіальні і осьові одночасно або по черзі;

упорні підшипники, що сприймають тільки осьове навантаження.

Кулькові підшипники кочення створюють мінімальне тертя завдяки точковому контакту. Для утримання і напрямки кульок, вони скріплюються сепаратором, а на кільцях виконуються доріжки. Від глибини доріжок, їх розміщення відносно один одного, залежить здатність сприйняття осьового навантаження

Роликовий підшипник має конструкцію подібну до кулькового, тіла кочення - ролики циліндричної, сферичної, конічної, сфероконічної форми утворюють лінійний контакт з доріжками кочення, завдяки чому, крім високої швидкості обертання, витримують великі статичні навантаження.

Радіальні однорядні виготовляють також з однією захисною шайбою. Захисні шайби оберігають підшипники від витоку мастильного матеріалу, а також і від проникнення пилу і бруду в їх порожнини [4].

1.3. Підшипник маточини автомобіля

1.3.1. Призначення маточини колеса (рис.1.4)

Маточина колеса (рис.1.4) є сполучною ланкою між колесом і поворотним кулаком / цапфою. Поворотний кулак тільки передає зусилля на елементи підвіски, сам же не обертається. Для забезпечення вільного обертання колеса необхідна маточина. На маточину встановлюється гальмівний диск (або гальмівний барабан), до неї кріпиться колесо. Маточина встановлена у

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

поворотний кулак (рис.1.4) на підшипниках, які забезпечують плавне обертання колеса.

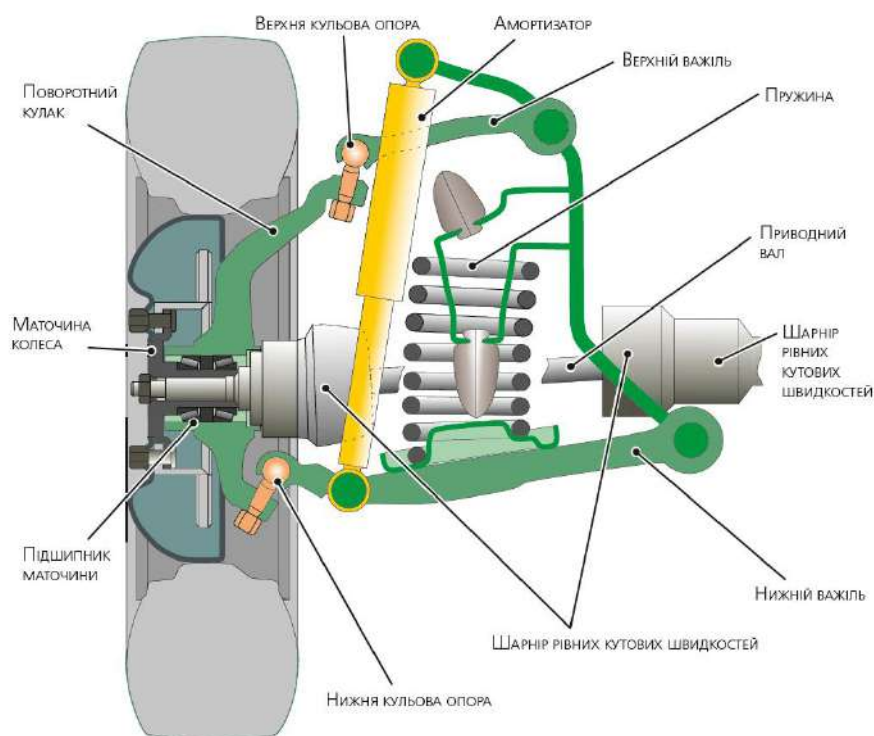


Рисунок 1.4 – Ходова частина автомобіля

1.3.2. Будова та призначення підшипника маточини

- це центральний елемент ходової частини, від якого залежить як працездатність автомобіля, так і безпека водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху.

Підшипник маточини відповідає за плавне та рівномірне обертання колеса без підгальмовування та відхилень у вертикальній площині. Під час руху ця деталь має дуже великі навантаження, тому для забезпечення максимальної надійності виготовляється з високоміцних матеріалів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

Конструкція підшипника маточини

Підшипник маточини зазвичай має дві обойми – зовнішню і внутрішню, які можуть обертатися незалежно одна від одної завдяки наявності між ними добірки круглих елементів – кульок чи роликів, які котяться по доріжках, відформованих для них в обох обоймах. Зазвичай кульки чи ролики розподілені по доріжках за допомогою сепаратора, в просторі між обоймами підшипника знаходиться консистентне мастило (біля 10 г) . У якісного підшипника обойми, кульки (чи ролики) виготовлені з металу визначеної твердості та зносостійкості, причому виготовлені з великою точністю (до 1 мкм).

Попри принципову ідентичність, підшипники маточини бувають різні. За типом елементів, що котяться, - кулькові та роликові, за формою обойм – конічні або радіально-упорні (циліндричні), за виконанням – розбірні чи ні, одно- та дворядні, з можливістю регулювання чи без такої. Крім того, останнім часом на підшипниках почали з'являтися датчики системи ABS, а в деяких випадках їх не можна замінити окремо від маточини.

Майже всі сучасні радіально-упорні підшипники для маточин авто мають закрите виконання – простір між обоймами з боків закритий кришками з ущільненнями для утримання всередині мастила [5].



Рисунок 1.5 - Підшипники маточини колеса

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 13 |

1.3.3. Несправності підшипника

Підшипник маточини під час експлуатації знаходиться в складних умовах дії силових навантажень, які викликають його знос та утому. Наслідком таких впливів є зародження тріщин, що під дією тіл кочення ростуть та викликають знос.

На поверхні кілець можна побачити зруйновані ділянки, задирки, вм'ятини, сліди корозії, тріщини та раковини.

Основними несправностями підшипників маточини є знос деталей підшипника та пошкодження доріжок внаслідок перевищення навантажень. Причиною виникнення пошкоджень є, наприклад,

- удари по колесу при потраплянні його в яму на дорозі. Жорсткий удар через шину і диск передається на тіла кочення, які у момент удару опинились в небезпечній зоні. Від таких ударів на доріжках кочення виникають мікротріщини, які з часом зростають та спричиняють знос підшипника.
- перегрів підшипника, який виникає при нагріванні до температур, що перевищують 130°C може бути (причиною може бути тривале навантаження на гальма, що призводить до нагрівання колеса, внаслідок чого масло розріджується та з підшипника витікає).
- різка зміна температури внаслідок охолодження розігрітого колеса в холодній калюжі, що викликає розрідження усередині підшипника та засмоктування холодної води підшипником. Якщо підшипники при цьому вже мають великий пробіг, їхнє ущільнення може не встояти і пропустити вологу в мастило. Умови змащування кульок (роликів) погіршаться, з'явиться корозія, і вузол скоро вийде з ладу.

Від спрацювання елементів можливе заклинювання підшипника та колеса, пошкодження кульової опори важеля підвіски та деформація півосі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 2 . АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ТА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НИХ

Підшипники є високоточними, високотехнологічними виробами, які в процесі виробництва піддаються значній кількості різних операцій.

Підшипник складається з окремих деталей: кільця, самого тіла кочення (у вигляді ролика або кульки), сепаратора, захисних шайб і заклепок. Отже виробництво підшипників – це виготовлення окремих конструкційних елементів, які завдяки складальним операціям створюють важливий виріб – підшипник [6].

2.1. Способи одержання кульок для підшипників.

Кульки можна виготовляти різними методами - прокатуванням, куванням, литтям в піщані форми та в кокіль.

Лиття в піщані форми має невелику вартість але поступається якістю виливок, що не забезпечує отримання заданих властивостей у готових деталях. Більш якісні виливки отримують в кокілях – металевих формах. Однак висока вартість ливарних форм стримує їх широке впровадження.

Більш прогресивним методом є обробка тиском: прокатування та штампування.

При штампуванні та при прокатуванні вихідною заготовкою є прутки, одержані гарячою прокаткою.

При штампуванні прутки розрізають на мірні заготовки, які нагрівають до 1100 – 1200°C і штамнують в штампі. Штамп – дорогий інструмент, тому собівартість виготовлення куль таким способом дуже велика.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Прокатування досить продуктивний спосіб одержання заготовок і є більш поширеним ніж інші. Обробка тиском є прогресивним видом обробки металу, вона дозволяє з малими втратами металу на відходи отримувати заготовки складної форми та значних розмірів.

2.1.1. Суть прокатного виробництва.

При прокатуванні нагрітий злиток чи заготовка обтискується двома обертовими валками прокатного стану. При всіх схемах прокатки метал піддається деформації тільки на деякій ділянці, яка при обертанні валків і руху заготовки вперед, неначе переміщується по металу, який прокатують. Під час прокатки зменшується товщина заготовки при одночасному збільшенні її довжини і ширини. Площа поперечного перерізу заготовки внаслідок прокатки зменшується (рис. 2.1.).

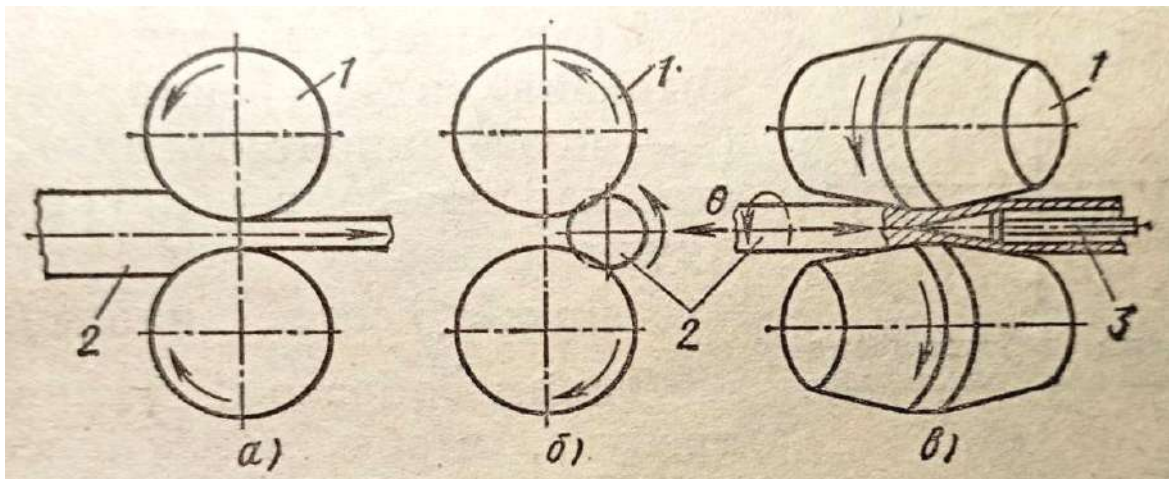


Рисунок 2.1. - Основні види прокатки: а- подовжня; б – поперечна; в – поперечно-гвинтова ; 1 – валки; 2 – заготовка ; 3 - оправка

Прокатування поділяється на подовжнє (рис.2.1, а), коли заготовка рухається в напрямку, перпендикулярному до осей валків (прокатування прутків, дроту, листів) і поперечне - заготовка рухається вздовж осей валків (прошивання гільз труби, прокатування куль, періодичного прокату (рис.2.1, б, в),).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

Основним робочим інструментом при прокатуванні є валки. Вони поділяються на гладкі, калібровані і спеціальні. На гладких валках прокатують листи, стрічку і широку штабу, а на каліброваних - усі види сортового прокату.

Калібровані валки мають на робочій поверхні виточені по колу канавки - рівчаки. Профіль вирізу, утвореного двома відповідними валками, називається калібром .

Обладнання для прокатки – прокатний стан, який складається з робочої машини і привода. Робоча машина має одну або декілька робочих клітей. Кожна кліть має комплект валків, які вміщені між парою станин. Привод складається з двигуна і передавальних механізмів. Від електродвигуна рух до валків передається через проміжні вали, що з'єднані муфтами з редуктором. Потім через шестеренну кліть, тріфкові шпинделі і тріфкові муфти обертання передається робочим валкам [7].

До прокатного стану належать також допоміжні механізми і машини, які виконують операції по транспортуванню, обробці і різанню металу, що прокатується.

2.1.2. Одержання кульок поперечно-гвинтовою прокаткою

Кулі належать до спеціальних видів прокату їх одержують на станах поперечно-гвинтової прокатки. Стан має два косо розташованих валки з гвинтовими калібрами. Принцип руху заготовки: робочі валки обертаються в одному напрямі. Валки мають рівчаки, які виконані по гвинтовій лінії. У вертикальній площині осі валків розташовані похило, утворюючи з віссю заготовки кут 5-12°. Заготовка має гвинтоподібний рух. Колове зусилля валків Q_1 діє в напрямі прокатування – воно просуває заготовку вздовж валків, а зусилля Q_2 здійснює обертання та обтискання заготовки (рис.2.3).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

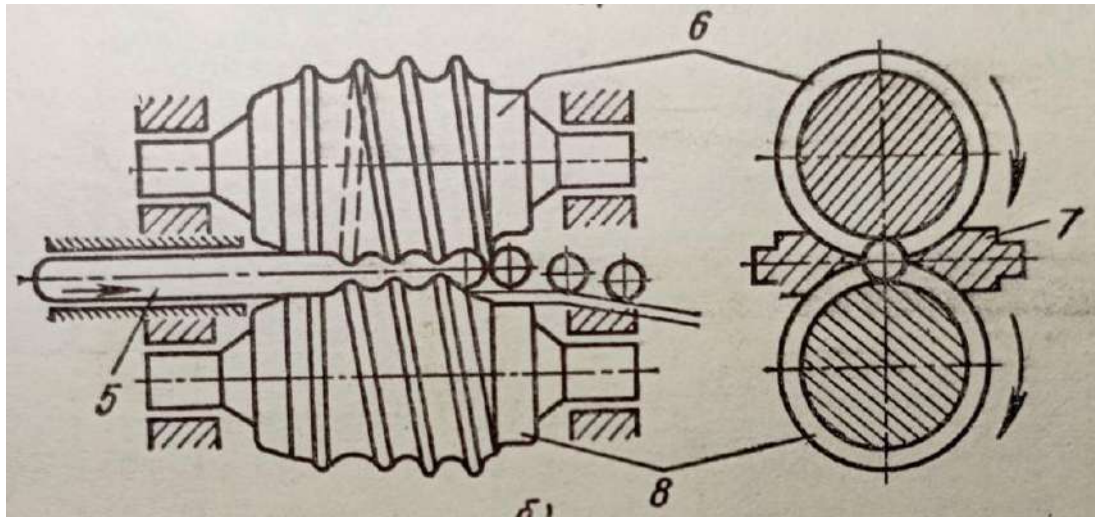


Рисунок 2.2 – Схема поперечно-гвинтової прокатки кульок:

6 , 8 – валки, 5 – заготовка; 7 – упори

Нагріта заготовка - пруток видається з печі на рольганг, із якого надходить у приймальний жолоб, потім вона подається штовхачем у валки. Валкам надає обертання електродвигун, шестеренна кліть і шпинделі, після виходу з валків кульки попадають на рольганг і виходять за межі станини і потрапляють у візок, який передає їх для подальшої обробки.

2.1.3. Одержання кульок на ковальсько – пресових холодновисадочних автоматах

При штампуванні кульок і роликів підшипників та інших виробів невеликої довжини заготовки утримуються за допомогою пружин під пуансоном або спеціальними пальцями .

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

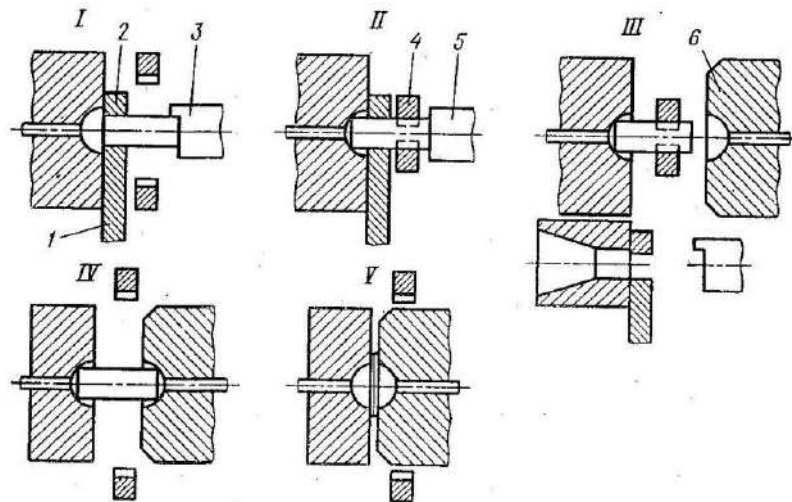


Рисунок 2.4 – Штампування кульки пуансоном без пружини

У другому випадку заготовка, перенесена на вісь штампування (рис. 2.4, I), утримується ножом 1 і гачком 2 і заштовхується в матрицю виступом спеціального важеля 3. Потім заготовка захоплюється пальцями 4, що дозволяє ножу і гачку відійти назад на вісь подачі (II і III). При цьому виступ важеля - заштовхувач 3 відходить вправо настільки щоб козирок 5, який перешкоджає повороту заготовки при її відрізанні, не зачепив заготовку. Далі підходить пуансон 6 і відразу ж після його зіткнення із заготовкою пальці 4 швидко розходяться, дозволяючи виконати штампування (IV і V).

2.1.4. Технологія виготовлення кулек на холодно-висадочному автоматі

1. Дріт потрібного діаметру розрізається на мірні заготовки потрібної довжини циліндричної форми.
2. Операція висадки. Обтискання заготовки відбувається між двома напівсферичними виїмками пуансона і матриці. Отримана заготовка має по екватору поясок, який видаляють під час обдирки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

3. Грубе шліфування виконують на обдирній машині. Заготовка прокочується по профільованій канавці між двома твердими шорсткими плитами, одна з яких обертається. Відбувається грубе обточування нерівностей, форма заготовки наближається до сферичної.
4. Промивання заготовок.
5. Термічна обробка: гартування від 880°C і низький відпуск при 170°C
6. Прецизійне шліфування в машині для шліфування.
7. Тонке полірування.
8. Контроль якості.

2.1.5. Виготовлення керамічних тіл кочення

Тіла кочення мажуть бути виготовлені з кераміки методами порошкової металургії. Керамічні кульки, виготовлені з таких матеріалів, як нітрид кремнію та оксид цирконію, широко використовуються в різних галузях промисловості завдяки своїм відмінним механічним, термічним і хімічним властивостям

Процес виробництва керамічних куль складається з таких етапів: підготовка сировини, формування виробу, спікання та фінішна обробка.

Формування виробу можуть здійснювати різними методами: литтям під тиском, шлікерне лиття, пресування. Спікання проводять при температурі 1300 – 1600 °C.

Шліфування та полірування дозволяють отримати кульки заданих розмірів, точності, шорсткості. За замовленням на поверхню кульок наноситься покриття. За технологією Фрідріха Фішера – винахідника принципу «безцентрового шліфування» у великих обсягах, кульки після термічної обробки піддають шліфуванню на шліфувальній машині, що

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

дозволяє сформувати задану геометрію кулькам, чистоту поверхні та розміри.

2.1.6. Виготовлення кілець

Кільця для підшипників переважно виготовляють механічною обробкою.

1. З прутків і труб вирізають заготовки потрібного діаметру.
2. Вальцюванням і тиском отримують чорнові заготовки
3. Токарною обробкою обробляють поверхню заготовки і нарізають кільця.
4. Термічна обробка – нагрівання до 850 °С і швидке охолодження до 400°С .
5. Відпуск при 170 °С.
6. Шліфування торцевих, внутрішніх і зовнішніх поверхонь, доріжок кочення.
7. Фінішне шліфування доріжок кочення до заданої шорсткості.

2.1.7 . Виготовлення сепараторів

Сепаратор є складовою частиною підшипника кочення, він утримує тіла кочення на певній відстані одне від одного. Сепаратори підшипників кочення діляться на штамповані металеві, механічно оброблені металеві, полімерні і композитні та спеціальні. Вони є стандартними для багатьох радіальних шарикопідшипників, сферичних роликотпідшипників, сферичних дворядних шарикопідшипників і здебільшого конічних роликотпідшипників.

Підшипники різних типів можуть оснащуватися наступними сепараторами:

1. Штамповані сепаратори з сталевго листа.

Характеризуються порівняно високою міцністю і малою масою. Вони є стандартними для багатьох радіальних шарикотпідшипників, сферичних

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

роликopідшипників, сферичних дворядних шарикopідшипників і здебільшого конічних роликopідшипників (рис.2.7). Сепаратори упорних підшипників для черв'ячних редукторів, патронів і шпинделів металорізальних верстатів, крюкових кранів і домкратів виготовляють зі сталі 20. Робоча температура таких підшипників не перевищує 300 °С.



Рисунок 2.5– Підшипник з штампованим сталевим сепаратором

2. Латунні сепаратори виготовляють механічною обробкою з заготовок, що одержані куванням та штампуванням. Внаслідок чого такі сепаратори мають високу міцність. Штамповані латунні сепаратори застосовують в деяких малих і середніх підшипниках. Латунні сепаратори експлуатуються при температурах не більше 250 °С, вони також не взаємодіють з більшістю застосовуваних мастил (рис.2.6).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |



Рисунок 2.6 – Підшипники з штампованим латунним сепаратором

Полімерні сепаратори підшипників виготовляють з поліаміду чи скло наповненого поліаміду методом лиття. Їх використовують часто на заміну сталевих сепараторів. Сепаратори з полімерних матеріалів поєднують необхідні характеристики міцності і пружності, забезпечують низький коефіцієнт тертя, мінімальний знос підшипника, можливість роботи його в умовах недостатнього змащування. Робоча температура підшипників з сепаратором із поліаміду та склонаповненого поліаміду до 120°C (рис.2.7). Підшипники з полімерних матеріалів здатні працювати за умов ударних навантажень та вібрацій, які виникають під час роботи механізму.



Рисунок 2.7 – Підшипник з сепаратором із поліаміду

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

Сепаратори з текстоліту, матеріалу на основі фенолформальдегідної смоли одержують методом лиття і подальшої механічної обробки. Такі сепаратори не розтріскуються і не стираються, їх переважно встановлюють на високоточні і високошвидкісні підшипники.

Сепаратори з текстоліту мають високу міцність, добре переносять вібрації і удари, низький коефіцієнт тертя забезпечує високі антифрикційні властивості підшипнику. Такі підшипники витримують високі відцентрові навантаження, але мають обмеження робочих температур (до 110°C) внаслідок деструктивних процесів у фенолформальдегідній матриці (рис.2.8).



Рисунок 2.8 - Підшипник з сепаратором із текстоліту

Порядок виконання операцій при виготовленні сепараторів можна представити в такій послідовності:

- розрізання листового прокату на заготовки заданої довжини;
- листове штампування. Пробивання отворів для тіл кочення.
- чорнове і чистове штампування для надання заданої форми;
- свердління отворів для заклепок;
- фінішна обробка отворів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.2. Матеріали для деталей підшипників

2.2.1. Матеріали для кілець та тіл кочення

Як видно з умов роботи деталей підшипника, вони працюють у важких умовах, тому до сталей, з яких їх виготовляють висувають такі вимоги: висока твердість, та міцність, висока зносостійкість, прогартовуваність, високий опір утомі, відколам та тріщинам, мати низький коефіцієнт тертя, здатність чинити опір пластичним деформаціям, забезпечувати високу статичну та динамічну вантажопідйомність, мати високу теплопровідність, низький коефіцієнт лінійного розширення та здатність змащуватись мастилом. Матеріал має бути не схильним до старіння, мати однорідний хімічний склад і мікроструктуру, містити мінімальну кількість неметалевих включень та низьку карбідну неоднорідність, що забезпечить однорідність твердості та міцності і зменшить локальну утому та концентрацію напружень, які виникають під час експлуатації. Твердість тіл кочення та кілець має бути не менше HRC 60 [8,9].

Для підшипників, що працюють за звичайними умовами роботи, розраховані на роботу без присутності агресивних компонентів у навколишньому середовищі і при температурах від - 60 до +300°C, використовують сталі хромисті, хромомарганцевокремністі, хромисті та хромомарганцеві з додаванням молібдену.

Найчастіше це - ШХ15 – високовуглецева хромиста сталь, що характеризується високим опором контактній утомі та відмінною зносостійкістю, яка постачається за ГОСТ 801, де визначені технічні умови на її виробництво. Сталь ШХ15 використовується для кілець з товщиною стінки 10...30 мм, для більш габаритних вже доцільно застосовувати марку ШХ20СГ.

Кільця і тіла кочення виготовляють також із шарикопідшипникових сталей марок ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20, ШХ20СГ. Сталі ШХ15-Ш,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 25 |

ШХ15ШД – піддаються позапічній обробці для зменшення кількості неметалевих включень, з яких виготовляють підшипники підвищеної довговічності та надійності.

Крім шарикопідшипникових сталей для підшипників використовують цементовані, корозійностійкі та швидкоріжучі сталі.

Цементовані сталі марок 18ХГТ, 20ХН3А – використовують для виготовлення кілець та роликів габаритних підшипників.

Для роликів голчастих підшипників використовують сталь 15Г1, 15Х, сталь 08, сталь 10.

Для виготовлення теплостійких та корозійностійких підшипників застосовують сталі 110Х18ММ-ШД, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 95Х18.

Найбільш поширеною з наведених марок сталей є сталь ШХ15. Із цієї сталі виготовляють кульки усіх розмірів, кільця товщиною до 10 мм і ролики діаметром до 22 мм.

Замінником сталі ШХ15 є закордонні марки: 100Cr6 - у Німеччині; 3 – Швеції; 52100 – США; SUJ2 – Японії.

Склад сталей для виготовлення деталей підшипників та їх властивості наведені в таблиці 2.1. та 2.2.

ШХ15СГ – низьколегована сталь, яка за рахунок підвищеного вмісту кремнію та марганцю краще прогартовується; ШХ20СГ – легована сталь з підвищеним вмістом хрому, марганцю й кремнію, призначена для виготовлення товстих підшипникових кілець;

25Х1МФ – сталь, яка легована молібденом і відрізняється непоганою зварюваністю й оброблюваністю.

Підшипникові сталі відповідно до вимог нормативної документації, повинні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

мати заданий хімічний склад та механічні властивості. Забезпечення особливих властивостей і підвищеної твердості сталі для підшипників здійснюється шляхом введення хрому та інших легуючих елементів, а також контрольованим процесом розкислення.

Таблиця 2.1. Характеристика сталей ШХ

| Марка | Хімічний склад | | | | | | | | |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | S | P | Ni | Cu | Ni+Cu |
| ШХ4 | 1,05 - 1,15 | 0,17 - 0,37 | 0,20 - 0,40 | 0,35- 0,50 | До 0,020 | До 0,027 | ≤0,30 | ≤0,25 | 0,50 |
| ШХ15 | 0,95 - 1,05 | 0,17 - 0,37 | 0,20 - 0,40 | 1,35 - 1,65 | 0,01 | 0,025 | 0,30 | 0,25 | 0,50 |
| ШХ15СГ | 0,95 - 1,05 | 0,40- 0,65 | 0,90 - 1,20 | 1,30- 1,65 | 0,020 | 0,027 | 0,30 | 0,25 | 0,50 |
| Х20СГ | 0,9 - 1,0 | 0,55- 0,85 | 1,40- 1,70 | 1,40- 1,70 | 0,020 | 0,027 | 0,30 | 0,25 | 0,50 |

Таблиця 2.2 . Механічні властивості сталей за ГОСТ 801

| Марка сталі | Вид термічної обробки | Твердість, НВ |
|-------------|-----------------------|---------------|
| ШХ15 | Відпал | 179...207 |
| ШХ15СГ | Відпал | 179...217 |
| ШХ20СГ | Відпал | 179...217 |

За рахунок використання марганцю (Mn), кремнію (Si) та алюмінію (Al) знижується загальна газонасиченість металу, а також мінімізується кількість і розмір неметалевих включень. При цьому хімічна чистота матеріалу нормується в залежності від марки сталі.

Важкі умови експлуатації підшипників зумовлюють високі вимоги до підшипникових сталей.

Сталі повинні мати високу прогартовуваність, чинити опір утомному викришуванню, відколкам, тріщинам, а також характеризуватися високою зносостійкістю; малим коефіцієнтом поверхневого тертя; підвищеним опором втомі, старінню і пластичним деформаціям; мінімально допустимою кількістю неметалевих включень і низькою карбідною неоднорідністю; здатністю забезпечити високу статичну та динамічну вантажопідйомність; хорошою теплопровідністю та змащуваністю маслом; низьким коефіцієнтом лінійного розширення.

Сталь для підшипників вибирають виходячи з габаритів і особливостей експлуатації підшипника.

2.2.2. Матеріали для сепараторів підшипників

Умови роботи сепаратора – утримання тіл кочення на заданій відстані один від одного під час їх обертання в підшипнику, відрізняються від умов роботи інших його деталей: на сепаратор не діють значні зусилля, які викликають його знос та деформацію, тому їх виготовляють з менш міцних та зносостійких матеріалів.

Для виготовлення сепараторів використовують сталі, сплави на основі кольорових металів, полімери та композити.

Сепаратори упорних підшипників для черв'ячних редукторів, шпинделів металорізальних верстатів виготовляють з сталі 20.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Масивні сепаратори виготовляють з латуней - ЛС59-1, ЛС59-1Л, бронз БрАЖМЦ10-3-1,5, БрАЖН10-4,4 та алюмінієвих сплавів Д1, Д16 АК4.

Поширеним полімерним матеріалом для сепараторів є поліамід, поліамід наповнений скловолокном, нейлон та ебоніт.

Сепаратори в керамічних підшипниках виготовляють з цирконію, нітриду кремнію, політетрафторетилену, нейлону, армованого скловолокном, волокнами з нержавіючої сталі тощо [9].

2.3 . Новітні матеріали для підшипників.

2.3.1. Керамічні матеріали

В якості матеріалів для виготовлення деталей підшипників використовують цирконієву кераміку (ZrO_2), нітрид кремнію Si_3N_4 , карбід кремнію SiC , з яких виготовляють кільці та тіла кочення для високошвидкісних вузлів.

Керамічні підшипники мають високу корозійну стійкість, менший відцентровий ефект зовнішнього кільця під час обертання, завдяки чому майже на 40 % продовжується строк служби підшипника. Такі підшипники можуть успішно працювати в середовищі зі значними перепадами температур. Керамічні підшипники мають високу стійкість до високих та низьких температур, здатні до самозмащування (рис.2.10).

Керамічні підшипники мають високу твердість, низьку питому вагу, низький коефіцієнт тертя та електроізоляційні властивості. Вони використовуються там, де звичайні матеріали не можуть забезпечити необхідну продуктивність і стабільність, а також там, де існують особливі вимоги до електричного екранування компонентів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 2.9 – Керамічні підшипники

2.3.2. Гібридні керамічні підшипники

Гібридні керамічні підшипники виготовляють з використанням металевих та керамічних матеріалів.

Тіла кочення – кульки, ролики виготовляють з нітриду кремнію, оксиду цирконію чи карбиду кремнію (Si_3N_4 , ZrO_2 , SiC), що забезпечує високу твердість, низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість.

Кільця - зовнішнє та внутрішнє, виготовляють з шарикопідшипникової сталі (GCr15), або нержавіючої сталі.

2.4 . Термічна обробка деталей підшипників

Згідно ГОСТ 801 – 78 (2022) прутки із сталей, що призначені для виготовлення деталей підшипників, піддають нормалізації, сфероїдизуючому відпалу; готові деталі – гартуванню та відпуску [9]. Типові режими термічної обробки шарикопідшипникових сталей представлені в (табл.2.3; 2.4).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 30 |

Таблиця 2.3. Режими відпалу та нормалізації сталей для підшипників

| Операція | Температура нагрівання, °С | Витримка | Охолодження | НВ |
|---|----------------------------|-------------|----------------------------------|-----------|
| Відпал | 790 - 810 | 2 – 6 год. | В печі до 550°С, далі на повітрі | 178 - 207 |
| Нормалізація перед гартуванням | 880 - 900 | 10 - 15 хв. | На повітрі | 270 - 390 |
| Нормалізація для усунення карбідної сітки | 920 - 950 | 10 – 25хв. | На повітрі | 270 - 300 |
| Високий відпуск | 650 - 700 | 1 – 2 год. | На повітрі | 229 - 285 |

Таблиця 2.4. Режими гартування сталей для підшипників

| Сталь | Розмір деталі, мм | Температура, °С | Охолоджувальне середовище | Витримка, хв. | Тривалість відпуску при 150 - 160 °С, год. | НРС після відпуску |
|--------|-------------------|-----------------|---------------------------|---------------|--|--------------------|
| ШХ15 | До 20 | 840 - 860 | масло | 20 - 60 | 2 | 62 - 66 |
| ШХ15СТ | 35-50 | 840- 860 | | 45 - 75 | 3 - 5 | 62 - 66 |

| | | | | | | |
|--------|--------|-----------|--|---------|-------|---------|
| | 20-30 | 860 - 880 | | 35 - 75 | 3 - 5 | 61 - 65 |
| ШХ15 | 23 -50 | 845 -850 | 3 – 5%-й р-н Na ₂ CO ₃ чи | 30 - 40 | 2 - 3 | 62 - 66 |
| ШХ15СГ | ≥ 50 | 860 -880 | 10%-й р-н NaCl | 35 - 75 | 3 -5 | 62 - 65 |

Нагрівання виробів можна здійснювати в нагрівальних печах чи індукційним методом при $t = 900..920$ °С, тривалість 30 – 120 с.

Висновки по розділу.

1. Зроблено аналіз умов роботи підшипників маточини автомобіля, визначені властивості, якими вони володіють, причини виходу їх з ладу.
2. Розглянуто матеріали, з яких виготовляють деталі підшипників, типові режими термічної обробки для надання їм експлуатаційних властивостей.
3. Розглянуто методи одержання деталей підшипників.

Задача досліджень: вибрати марку сталі та спосіб виготовлення деталей підшипника; розробити режими термічної обробки для забезпечення тривалого строку експлуатації заданих деталей.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 32 |

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Вибір матеріалу деталей підшипника

Матеріал для деталей підшипника маточини має задовольняти основним вимогам, які висувають до підшипників: мати високу контактну витривалість, протистояти утомному окрихчуванню робочих поверхонь, що виникає внаслідок дії циклічних контактних напружень стиску, які сприяють розвитку процесів втоми; мати високу твердість, зносостійкість, прогартовуваність. Сталі, які задовольняють висунутим вимогам повинні бути високо вуглецевими або низьколегованими цементованими.

Для виготовлення кілець та тіл кочення підшипників із можливих вибираємо сталь ШХ15-Ш. Хімічний склад сталі наведено в табл. 3.1

Сталь ШХ15-Ш призначена для підшипників з поперечним перерізом (10 – 20 мм).

Норми на виготовлення та постачання підшипникової сталі визначає ГОСТ 801 – 2002 Згідно ГОСТ підшипникові сталі мають такий хімічний склад табл. 3.1.

Сталь одержують в електричних чи мартенівських кислих печах, для зменшення вмісту шкідливих домішок її піддають електрошлаковому переплаву (табл. 3.2.) Зменшення кількості домішок позитивно впливає на утомну довговічність підшипників (рис. 3.1).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 3.1. Хімічний склад сталей для підшипників

| Склад сталі, % | Марка сталі | | | |
|--|-------------|------------|------------|------------|
| | ШХ4 | ШХ15 | ШХ15СГ | ШХ20СГ |
| Вуглець | 0,95-1,05 | 0,95-1,05 | 0,95-1,05 | 0,90-1,00 |
| Марганець | 0,15-0,30 | 0,20-0,40 | 0,90 -1,20 | 1,40 -1,70 |
| Кремній | 0,15 -0,30 | 0,17 -0,37 | 0,40 -0,65 | 0,55 -0,85 |
| Хром | 0,35 -0,50 | 1,30 -1,65 | 1,30 -1,65 | 1,40 -1,70 |
| Сірка ≤ не більше | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Фосфор ≤ не більше | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 |
| Нікель ≤ | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Мідь ≤ | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Нікель +Мідь ≤ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Після електрошлакового переплаву сталь містить S ≤ 0,01%, P ≤ 0,025% | | | | |

Таблиця 3.2 Вплив способу виплавки сталі на вміст шкідливих домішок

| Спосіб виплавки | Сірка, % | Фосфор, % | Кисень, % | Азот, % | Водень, % |
|--|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Киснево конверторна сталь | 0,02-0,03 | 0,02-0,03 | 0,005- 0,008 | 0,002- 0,005 | 0,0001- 0,0005 |
| Мартенівська сталь | 0,025- 0,035 | 0,025- 0,035 | 0,005- 0,008 | 0,003- 0,007 | 0,0002- 0,0007 |
| Електросталь | 0,01-0,02 | 0,01-0,02 | 0,002- 0,004 | 0,007- 0,01 | 0,0004- 0,0006 |
| Електрошлаковий переплав | 0,002- 0,008 | 0,01-0,02 | 0,003- 0,004 | 0,007 - 0,015 | 0,0002 |
| Вакуумно-дуговий переплав | не змінюється | не змінюється | 0,002- 0,003 | 0,006- 0,008 | 0,0002 |
| Вакуумноіндукційна плавка | не змінюється | не змінюється | 0,0015- 0,0025 | 0,006- 0,008 | 0,0002 |
| Вміст фосфору при переплавах не змінюється (0,01 - 0,02 %) | | | | | |

Цикли

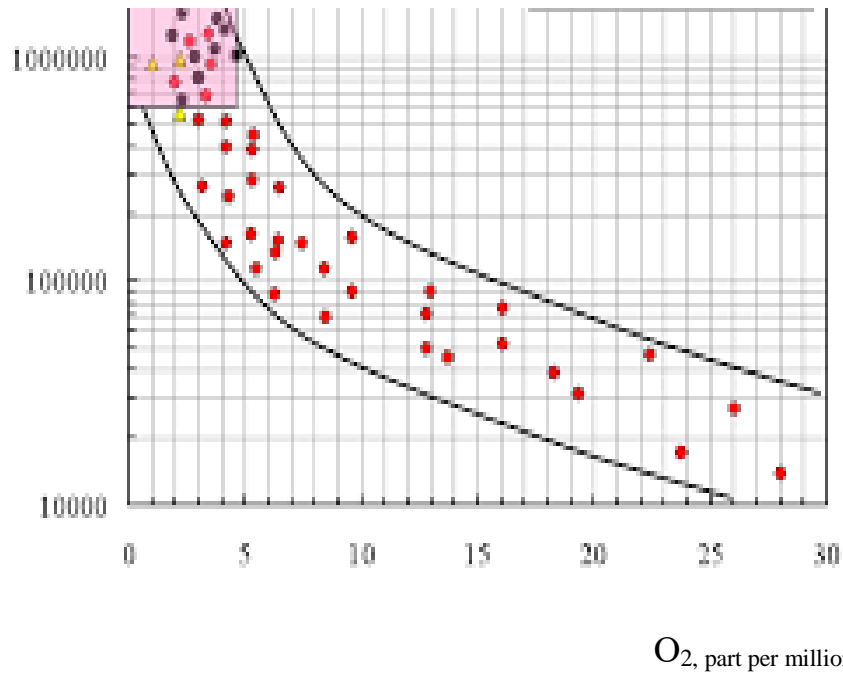


Рисунок 3.1 – Вплив кисню в сталі на утомну довговічність:

o – сталь мартенівська; Δ - сталь після вакуумно-дугового переплаву;

o – сталь після електрошлакового переплаву.

Вакуумно-дуговий (ВДП) переплав дозволяє суттєво підвищити утомну міцність сталі ШХ 15 у порівнянні із звичайною дуговою плавкою. Зниження анізотропії і підвищення утомної міцності, а також значне зменшення ліквациї покращують службові характеристики сталі. Після ВДП сталь має кращу макроструктуру. Бал пористості і ліквацийні зони зменшуються у 2 рази.

Сталь ШХ15 – Ш призначена для деталей підшипників кочення – кілець з стінками товщиною до 15 -20 мм та тіл кочення.

Макроструктура сталі ШХ15 – Ш за шкалами 1 і 2 (ГОСТ 10242-75) : центральна пористість та загальна пористість (точкова неоднорідність)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

відповідають 1 балу. Сталь повинна мати нормовану карбідну неоднорідність (табл.3.3; 3.4) [11,12].

Таблиця 3.3. Допустимі дефекти в сталі ШХ.

| Вид сталі | Діаметр , мм | Рядковість | Ліквація |
|-------------------------------|--------------|----------------|----------|
| | | Допустимі бали | |
| | | Не більше | |
| Холоднотягнута | - | 2,0 | 1,0 |
| Гарячекатана відпалена | | 2,5 | 2,0 |
| Гарячекатана, не відпалена | Менше за 140 | 3,0 | 3,0 |
| | Більше 140 | 3,5 | |

Таблиця 3.4. Допустимі неметалеві включення в сталі ШХ.

| Вид обробки сталі | Оксиди | Сульфіди | Глобулі |
|---|----------------|----------|---------|
| | Допустимі бали | | |
| | не більше | | |
| Холоднотягнута | 1 | 1 | 1 |
| Гарячекатана відпалена і невідпалена | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Строк служби підшипників із сталі ШХ15 – Ш збільшується табл.3.5.

Таблиця 3.5. Довговічність підшипників із сталі ШХ15 – Ш після повторних переплавів

| Спосіб виплавки | Час до вихода з ладу 10% підшипників, млн. год. | Збільшення тривалості експлуатації, % |
|---------------------------------|---|---------------------------------------|
| ЗДП – звичайна дугова плавка | 21,7 | - |
| ВДП – вакуумно-дуговий переплав | 38,0 | 70 |
| ВДП – два переплави | 60,0 | 170 |
| ВДП –п'ять переплавів | 77,0 | 260 |

Сталь постачають у вигляді прутків труб та дроту. Для гарячого штампування сталь постачається без відпалу, для холодної механічної обробки - після сфероїдизуючого відпалу з структурою дрібнозернистого перліту з дрібними включеннями вторинних карбідів, твердість сталі в стані постачання НВ 179 – 217. Сталь задовільно обробляється різанням, має достатню пластичність при холодному штампуванні кульок та роликів. Режим сфероїдизуючого відпалу показано на рис.3.2

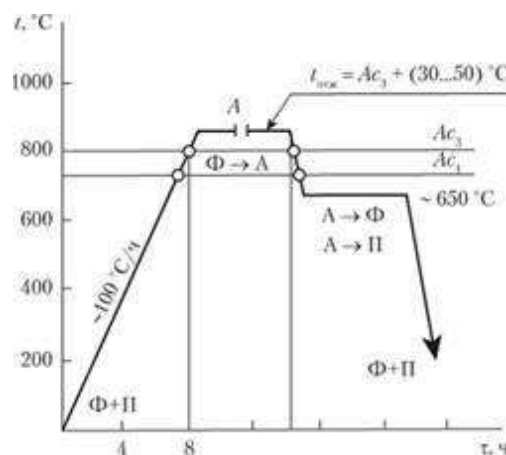


Рисунок 3.2 – Графік сфероїдизуючого відпалу

Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб перетворення аустеніту на зернистий перлит для сталі ШХ15 завершилося при температурі 600 °С.

Готовий прокат не повинен мати залишків усадкової раковини та рихлості, пухирів, тріщин, розшарувань, неметалевих включень, флокенів та перепалу, які виявляються без збільшувальних приладів, як в макроструктурі, так і в зломі. Загартована сталь повинна мати дрібнозернистий фарфороподібний злом, без видимих включень та прошарків. Якість макроструктури сталі оцінюють за спеціальною контрольною шкалою.

Стандарт визначає норми по глибині знеуглецьованого шару, який в залежності від діаметра прутка може бути від 0,12 мм до 1,1 мм. Знеуглецьований шар холодно тягнутої сталі не має бути більшим за 1% від діаметра прутка. Сталь всіх марок перевіряють на наявність неметалевих включень за спеціальними шкалами. Неметалеві включення, виходячи на поверхню стають концентраторами напружень і сприяють швидкому розвитку утомного викришування. Сталь ШХ15 – Ш має високу чистоту по неметалевим включенням завдяки чому добре полірується, що забезпечує низький коефіцієнт тертя при роботі підшипника і підвищує його зносостійкість. Сталь повинна мати обмежену карбідну неоднорідність [13].

На поверхні гарячекатаної сталі, яка призначена для подальшої гарячої обробки тиском, не допускається наявність тріщин, закатів, волосовин, раковин, плен.

На поверхні холоднотягнутої сталі не має бути тріщин, волосовин, закатів, ризок, раковин, плен, шлаковин, окалини. Поверхня має бути чистою і гладенькою.

Гарячекатану не відпалену сталь товщиною до 60 мм, призначену для кування та штампування, піддають випробуванням на гарячу осадку на

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

молотах. Холоднотягнуту сталь до 30 мм піддають випробуванням на холодну осадку .

Стандарт вимагає дотримання заданої кривизни прутків та їх довжини.

Термічна обробка підшипникових сталей проводиться у вузьких температурних межах, так як незначні відхилення від оптимальних температур різко змінюють властивості сталі, погіршуючи її якість.

Деталі підшипників із сталі ШХ15 –Ш – піддають неповному гартуванню від температури 820 -850°C, охолодження в маслі; низькотемпературному відпуску при 150 - 170 °С. Після гартування і відпуску в сталі залишається до 8 -15% аустеніту. Для стабілізації розмірів підшипників, які виникають внаслідок розпаду залишкового аустеніту, рекомендують проводити обробку холодом при -70 ÷ - 80 °С. Після кінцевої обробки підшипникова сталь має структуру мартенситу з включеннями дрібних карбідів, твердість HRC 61-65 [14]. Склад сталі та її властивості показані в таблицях 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.6. Характеристика сталі ШХ15 - Ш

| Марка | Хімічний склад | | | | | | | | |
|-------|----------------|--------|--------|--------|------|-------|-----|------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | S | P | Ni | Cu | Ni+Cu |
| ШХ15 | 0,95 - | 0,17 - | 0,20 - | 1,35 - | 0,01 | 0,025 | 0,3 | 0,25 | 0,50 |
| -Ш | 1,05 | 0,37 | 0,40 | 1,65 | | | | | |

Таблиця 3.7. Механічні характеристики сталі ШХ15 - Ш

| Сталь | Механічні властивості | | | | | |
|--------|-----------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------|-----------|
| | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ , % | Ψ , % | КСУ, кДж/м ² | НВ |
| ШХ15-Ш | 800 - 1130 | 590 - 785 | 8 - 10 | 20 - 40 | 20 - 39 | 179 - 229 |

Сталь ШХ15 - температура нагрівання для кування 1180 °С, кінець кування 870 °С, не нижче 830°С. Поковки діаметром до 200 мм охолоджують на повітрі. Від діаметра 201 до 300 мм – охолоджують в закритих колодязях.

Температура критичних точок: $A_{c1} - 724^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} (A_{cm}) = 900^{\circ}\text{C}$, $A_{r3} (A_{rcm}) = 713^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 700^{\circ}\text{C}$, точка $M_{п} = 210^{\circ}\text{C}$.

Сталь чутлива до утворення флокенів – скупчень водню [10]. У прокаті флокени сприяють утворенню внутрішніх тріщин малих за розміром (частки міліметра), але шкідливих, так як суттєво знижують механічні властивості сталі. Шкідливий вплив флокенів попереджають проведенням вакуумування рідкої сталі, завдяки чому вміст водню зменшується до безпечного рівня. З цією ж метою на металургійних виробництвах проводять гомогенізуючий відпал при температурі 1100 – 1150°С, з витримкою 20 - 25 годин та охолодженням в печі до 100°С.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

Сталь ШХ15 – Ш схильна до відпускнуї крихкості, шліфуємість – хороша.

Прогартовуваність сталі показана на (рис. 3.3) та в (табл.3.8).

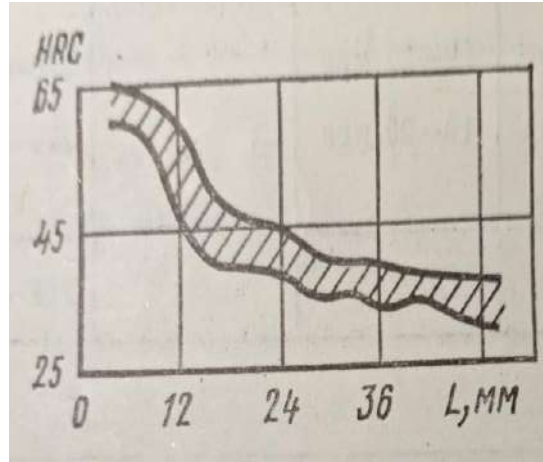


Рисунок 3.3 - Прогартовуваність сталі ШХ15

Прогартовуваність є важливою технологічною характеристикою будь – якої сталі. Наскрізна прогартовуваність забезпечує формування однорідної структури по перерізу деталі. В разі не наскрізної прогартовуваності структура сталі буде не однорідною, а властивості відповідно до структури будуть змінюватись від поверхні до центру (як правило, зменшуючись) (табл.3.8).

Таблиця 3.8. Твердість сталі в залежності від відстані від торця

| Відстань від торця, мм | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|---------|-------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|
| | 1,5 | 3 | 4,5 | 6 | 9 | 15 | 29 | 33 |
| Твердість | 65,5 - 68,5 | 63 - 68 | 58,5 - 67,5 | 51,5 - 67 | 38 - 54 | 38 - 48,5 | 33 - 41,5 | 28-35,5 |

Таблиця 3.9. Технологічні властивості сталі ШХ15

| Температура ковки, °С | | Прогартовуваність в маслі, діаметр, мм | Оброблюваність різанням | | |
|-----------------------|-------|--|-------------------------|-----|----------------|
| початку | кінця | | НВ | Kv | Матеріал різця |
| 1150 | 850 | 6 - 30 | 179-207 | 0,9 | Твердий сплав |

Таблиця 3.10. Величина умовного зносу сталей ШХ15 та ШХ15СГ

| HRC | Відносний знос сталей, мг/(мм ² ·м) | |
|---------|--|--------|
| | ШХ15 | ШХ15СГ |
| 58 - 59 | 0,0267 | 0,0270 |
| 61 - 62 | 0,0240 | 0,0252 |

Отже, широке використання підшипникових сталей ШХ15 і ШХ15 –Ш обумовлене високими експлуатаційними властивостями:

- високим показникам твердості HRC 61...62 - для кілець та HRC 62...64 - для тіл кочення;
- здатністю протистояти зносу;
- достатній пластичності та в'язкості;
- високій загартовуваності та прогартовуваності,
- високій контактній витривалості;

- - високій зносостійкості;
- високій стійкості до згинання;
- однорідності структури в стані постачання. Високі показники міцності забезпечуються хімічним складом сталі та термічною обробкою.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

Сталь ШХ15 –Ш містить 0,95 -1,0 % С, який надає сталі твердості.

Легуючі елементи, в основному хром, в кількості 1,36 – 1,65 % забезпечує утворення дрібнозернистих карбідів, які сприяють високій твердості та зносостійкості сталі. Марганець (0,2 -0,4%) є корисною домішкою, який при одержанні сталі сприяє видаленню кисню та сірки.

Кремній розчиняється в фериті зміцнює сталь, а також затримує розпад мартенситу під час відпуску.

Сталь ШХ15-Ш постачається після вакуумно - дугового переплаву, що зменшує кількість неметалевих включень та шкідливих домішок, завдяки чому сталь має підвищену утомну міцність, після проведення зміцнювальної термічної обробки сталь має високу твердість, що є обов'язковою умовою для забезпечення високої зносостійкості підшипників.

Внаслідок рафінування сталі покращена її чистота, зменшена маса злитків, усунута волокнистість та її негативний вплив на властивості сталі.

Збільшення хімічної однорідності сталі ШХ15-Ш досягають проведенням гомогенізуючого відпалу.

Розроблені режими термічної обробки деталей підшипників дозволяють сформувати структуру мартенситу відпуску з дрібними часточками карбідів, яка забезпечить сталі високу твердість та зносостійкість.

Сталь ШХ15 –Ш добре обробляється різанням на мінімальну шорсткість (шліфування, полірування, хонінгування), що потрібно для зменшення концентраторів напружень та усунення причин появи тріщин, забезпечення довготривалого строку експлуатації підшипників.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

Автори [13] показали, що довговічність підшипників залежить від густини сталі, насичення її порами, та орієнтації волокон відносно найбільш навантажених поверхонь, що знаходяться в зоні контактного навантаження (доріжки кочення та поверхні тіл кочення). Для зменшення впливу визначених факторів на властивості підшипникових сталей на металургійних заводах впроваджені наступні заходи: обтискання злитків при прокатуванні за раціональними схемами, зменшення волокнистості сталі.

Зменшення забрудненості сталі неметалевими включеннями при проведенні рафінуючих переплавок є головним технологічним заходом, який забезпечує сталі високу утомну міцність та довговічність виготовлених з неї підшипників.

3.2. Вибір способу одержання кілець та кульок для підшипника

Огляд літературних джерел показав, що деталі підшипників - кільця та тіла кочення одержують різними способами: литтям, обробкою тиском, різанням. Кожен з цих методів є доцільним за певних умов: з урахуванням технічного стану виробництва, програми (одиничне чи масове виробництво) тощо.

Економічні вимоги, які висувають до матеріалів, що вибирають для виготовлення деталей, передбачають не тільки невисоку ціну на сталь, але й низькі витрати на виготовлення деталей. Вибраний матеріал має бути технологічним, дозволяти виготовлення деталі з найменшими витратами праці, матеріалу та енергії.

З існуючих способів одержання кілець можна назвати лиття - в піщані форми та відцентровим способом. Ці способи використовують на виробництвах таких країн як Китай.

В Україні кільця підшипників виготовляють механічною обробкою із трубних заготовок. А самі труби одержують чи прокаткою на металургійних комбінатах, чи методом відцентрового лиття на машинобудівних заводах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

При одержанні труб на прокатних станах економно витрачається метал вихідного прокату – прутка. Такі заготовки піддаються мінімальній термічній обробці – надання точних розмірів при обточуванні та чистоти поверхні при шліфуванні та поліруванні.

Виходячи з вищеприписаного в роботі пропонується в якості заготовки для виготовлення кілець підшипника вибирати труби відповідного діаметру. Схема одержання труб показана на рис. 3.4.

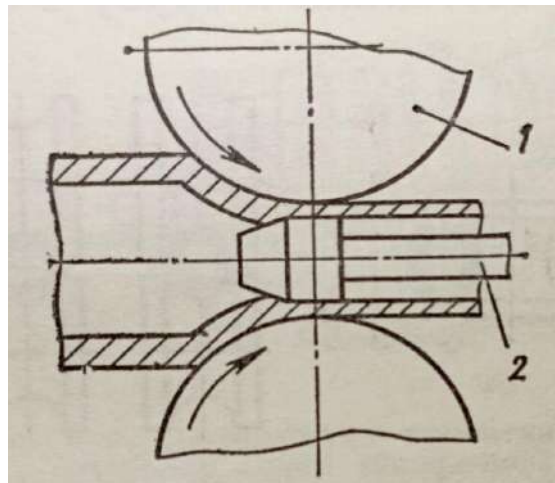


Рисунок 3.4 – Схема прокатки труб на автоматичному стані:

1 – валки; 2 - оправка

Теж саме стосується кульок. Їх також пропонується виготовляти на прокатних станах методом поперечно-гвинтової прокатки .

3.3. Розробка режимів термічної обробки деталей підшипника

3.3.1. Обґрунтування вибраного режиму

Згідно рекомендацій ГОСТ 801 температура нагрівання для проведення гартування деталей із сталі ШХ15 – Ш – 840°C.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

Сталь ШХ15 –Ш – за структурою заевтектоїдна, за складом – низьколегована. Отже, температура нагрівання для гартування для заевтектоїдних вуглецевих сталей вибирається із таких умов : $T_n = A_{c1} + (30 \div 50)^\circ\text{C}$; тоді $T_n = 724 + 50 = 774^\circ\text{C}$.

Сталь ШХ15-Ш легована, а для легованих сталей температура вибирається на 50... 100°C вищою, ніж для вуглецевих, тому для нагрівання вибираємо рекомендовану за ДСТУ температуру – **840°C**.

Вибрана температура нагрівання забезпечить перетворення вихідної перлітно - цементитної структури в аустенітну з залишками нерозчинених карбідних часточок. Карбіди, що розчинились в аустеніті, легують його хромом, а ті, що не розчинились – гальмують ріст зерна аустеніту, залишаючись у вигляді дуже дрібних карбідів, зберігають сталь дрібнозернистою.

3.3.2. Вибір способу нагрівання

Технологічна операція гартування передбачає нагрівання виробів до заданої температури, витримку при цій температурі та охолодження з заданою швидкістю. Температура нагрівання та тривалість витримки визначаються хімічним складом сталі, швидкість охолодження має забезпечити одержання структури мартенситу.

При нагріванні деталей для проведення гартування враховують фізико – хімічні процеси, які відбуваються між нагрівальним середовищем та поверхнею деталі, і які є причиною виникнення таких дефектів як жолоблення, деформація, тріщини та окиснення поверхні.

Під час нагрівання сталі поверхневі шари метала мають більш високу температуру, ніж внутрішні. Розширенню поверхневих шарів перешкоджають внутрішні, менш нагріті шари. Внаслідок взаємодії

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

поверхневі шари зазнають стискаючих напружень, і максимальні стискаючі напруження будуть на поверхні.

Внутрішня частина деталі знаходиться під впливом напружень розтягу, що створені поверхневими шарами. Максимальні напруження розтягу зосереджуються в середині заготовки. При переході через критичні точки внаслідок структурних перетворень характер і величина внутрішніх напружень може змінюватись. В цей час метал знаходиться в пластичному стані і напруження, які виникають можуть спричинити лише пластичну деформацію. Найбільш небезпечними є внутрішні напруження в інтервалі температур до 600 – 700°C, коли метал мало пластичний. Якщо при нагріванні виникають внутрішні напруження, які перевищують дійсний опір руйнуванню метала, то можуть утворитись тріщини. Величина внутрішніх напружень залежить від різниці температур зовнішніх та внутрішніх шарів металу, коефіцієнту розширення, а також величини напружень, які є у вихідному металі. Чим більша різниця температур, тим вищий рівень напружень.

При виборі допустимої швидкості нагрівання потрібно враховувати наступні параметри:

- механічні властивості метала у вихідному стані. Пластичний метал можна гріти швидше, мало пластичний – повільніше. Сталі після відпалу маловуглецеві та середньовуглецеві можна нагрівати з будь-якою швидкістю;
- рівномірність нагрівання. Чим рівномірнішим є нагрівання і меншими є розміри деталі, тим швидкість нагрівання може бути більшою. Так як за таких умов меншою буде різниця температур зовнішніх і внутрішніх шарів металу;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- теплопровідність металу. Швидкість нагрівання тим вища, чим більша теплопровідність металу, так як різниця температур зовнішніх і внутрішніх шарів металу зменшується.
- Конфігурація деталі. Підвищена швидкість нагрівання може сприяти жолобленню та деформації деталі зі складною формою.

Нагрівання виробів можна здійснювати двома методами: зовнішнім джерелом тепла – печі, ванни, полум'ям газових пальників або перетворенням електричної енергії в теплову шляхом виділення тепла всередині заготовки (індукційне гартування струмом промислової чи високої частоти, нагрівання методом опору).

В залежності від температури в печі розрізняють декілька способів нагрівання, основними з яких є повільне, нормальне та форсоване нагрівання.

При повільному нагріванні вироби завантажують у холодну чи підігріту піч до невисокої температури, де вироби нагріваються разом з піччю. Різниця температур по перерізу невелика, час нагрівання великий.

При нормальному нагріванні завантаження виробів здійснюють в піч, яка нагріта до заданої температури. Різниця температур більша, ніж в першому випадку, а час нагрівання менший.

При форсованому режимі завантаження виробів здійснюють в піч при температурі вище заданої, а потім температура печі знижується до заданої. Швидкість нагрівання найбільша.

Швидкість нагрівання залежить від методу, форми і розмірів виробу.

Час нагрівання в залежності від конструкції нагрівального пристрою та форми виробу можна визначити за формулою:

$$\tau_n = 0,1 D_1 K_1 K_2 K_3, \quad (5.1)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 50 |

де D_1 – мінімальний розмір максимального перерізу виробу (для пластини це її товщина);

K_1 – коефіцієнт середовища, (при нагріванні в середовищі повітря $K_1 = 2$, в розплаві солей – $K_1 = 1$, в розплаві металу – $K_1 = 0,5$);

K_2 – коефіцієнт форми (для кулі – 1, циліндра – 2, паралелепіпеда – 2.5, пластини - 4);

K_3 – коефіцієнт рівномірності нагрівання, (всебічний – 1, однобічний – 4).

Час витримки (τ_v) приймають 1 хвилину для вуглецевих і 2 хвилини для легованих сталей.

При термічній обробці вироби нагрівають в печах різних типів, які опалюють твердим, рідким, чи газовим паливом, а також в електропечах. Вироби невеликих розмірів можна нагрівати в розплавах металів (свинцю) чи солей (KNO_3 , $NaNO_3$, $BaCl_2$).

При нагріванні рекомендовані такі норми часу: в електричних та полуменевих печах – 1 хв. на 1 мм перерізу виробу, в соляних ваннах – 0,5 хв. на 1 мм перерізу. Час нагрівання виробів з легової сталі потрібно збільшити на 25 – 50%.

При нагріванні в полуменевих чи електричних печах поверхня металу, що нагрівається реагує з атмосферою печі, це викликає окислення та зневуглецювання сталі, зменшує твердість, міцність, зносостійкість. Для захисту виробів від окислення в робочий простір печі вводять захисні атмосфери, які містять відновники – CO та H_2 . Витримка при температурі нагрівання обов'язкова для вирівнювання температури по всьому виробу і одержання однорідного дрібнозернистого аустеніту.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

Вибрана температура нагрівання – 840°C забезпечить отримання дрібнозернистого аустеніту, з якого при охолодженні в маслі буде отримана структура мартенситу.

3.3.3. Вибір охолоджувального середовища

Охолоджувальним середовищем для гартування сталі вибираємо мінеральне масло .

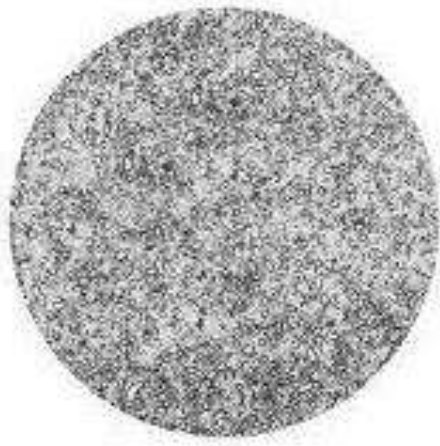
Вплив температури нагрівання для проведення гартування на структуру загартованої сталі ШХ15 показано на рис.3.5.

При нагріванні сталі для гартування до температур, нижчих за оптимальні, формується структура мартенситу, троститу і карбідів (рис.3.5, б).

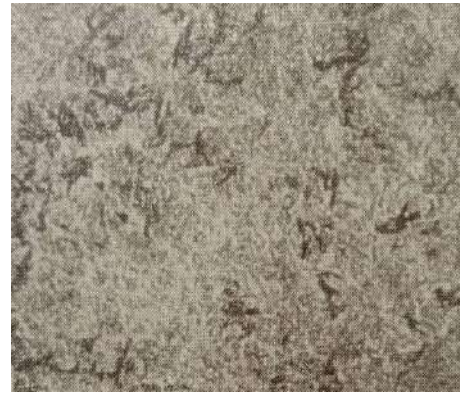
В сталі ШХ15 –Ш після гартування від температури 840°C утворюється структура дрібногочастого мартенситу з дрібними карбідами (рис. 3.5, в).

Дефектні структури можуть бути одержані при занижені чи завищені температури нагрівання. При нагріванні для гартування до 900°C утворюється структура грубо гочастого мартенситу та залишкового аустеніту, вона має підвищену крихкість та знижену твердість (рис.3.5, г).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.5 - Структура загартованої сталі ШХ15 – Ш у стані постачання (а) та після гартування від різних температур нагрівання:

б) 780°C; в) 840°C ; г) 900°C

З термодинамічної діаграми розпаду переохолодженого аустеніту сталі ШХ15 видно [11], що в інтервалі температур A_{r1} та M_n , інкубаційний період стійкості переохолодженого аустеніту значний, критична швидкість охолодження у сталі буде не велика (в межах 35 - 40° С/хв.) і охолодження при гартуванні можна здійснити в маслі.

Масло охолоджує зі швидкістю 150 - 100°C/с. Найкращі охолодні властивості має підігріте масло до 70 - 80°C. Масляне охолоджувальне середовище створює рівномірні умови охолодження сталі в усьому інтервалі

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 53 |

температур охолодження (від A_{r1} до M_n). Застосування циркуляції масла підвищує швидкість охолодження сталі та сприяє формуванню однорідної структури в загартованих деталях.

Тривале перебування деталей в зоні високих температур веде до значного окиснення поверхні та знеуглецювання. Щоб не допустити цих дефектів під час термічної обробки, нагрівання потрібно проводити в печах з захисною атмосферою або в соляних ваннах, добре розкислених уведенням в них розкислювачів (бури, фтористого магнію тощо).

Сталь ШХ15 –Ш в загартованому стані може містити до 8% залишкового аустеніту, що є не бажаним явищем. Ефективним заходом для зменшення кількості залишкового аустеніту є охолодження сталі зразу після гартування до температур, які відповідають закінченню мартенситного перетворення. Таку обробку сталі називають обробкою холодом. Під час такої обробки частина аустеніту, яка ще залишилась, перетворюється на мартенсит. Графік режиму гартування деталей підшипника показано на рис.3.6.

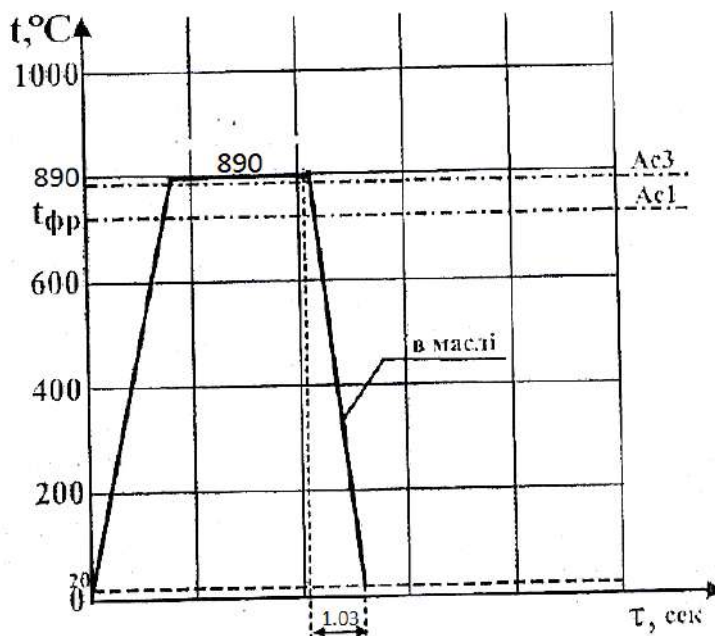


Рисунок 3.6 – Графік режиму гартування деталей підшипника

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

Внаслідок обробки холодом підвищується твердість, зносостійкість, стабілізуються розміри виробу. Підвищення твердості залежить від кількості залишкового аустеніту, який залишився після охолодження в маслі при гартуванні

Міцність і пластичність сталі після обробки холодом в значній мірі залежить від вихідної та кінцевої структури після обробки холодом. Перетворення рівномірно розподіленого залишкового аустеніту при обробці холодом сприяє утворенню дрібногочастого мартенситу, міцність сталі зростає.

Обробка холодом є рекомендованим заходом, проте не на кожному виробництві його можна впровадити. Тому на більшості виробництв кінцеву структуру та властивості підшипників формують під час відпуску.

3.3.4. Відпуск деталей підшипника

Відпуск є завершальною операцією термічної обробки, який проводять після гартування. Температура відпуску від 100 до 650°C. Температуру відпуску вибирають в залежності від заданих механічних властивостей, які потрібно надати виробам. Вплив температури відпуску на механічні властивості сталей з різним вмістом вуглецю показано на рис. 3.6.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

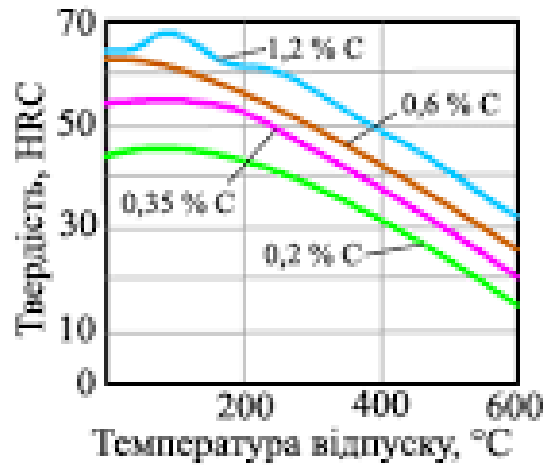


Рисунок 3.6 - Залежність твердості сталей від температури відпуску

Під час відпуску усувають крихкість загартованої сталі та формують структуру, яка буде стійкою при звичайних температурах та з кращими експлуатаційними властивостями. Властивості сталі ШХ15-Ш після гартування та відпуску показано в (табл. 3.11, рис.3.6)

Таблиця 3.11. Твердість сталей ШХ15 і ШХ15СГ в залежності від температури відпуску

| Сталь | Витримка, Год. | HRC при температурі відпуску, °C | | | |
|--------|----------------|----------------------------------|------|------|------|
| | | 150 | 175 | 200 | 250 |
| | | не більше | | | |
| ШХ15 | 2 | 63,0 | 62,0 | 60,2 | 58,0 |
| | 4 | 62,5 | 61,0 | 59,1 | 57,0 |
| | 6 | 62,5 | 60,8 | 59,0 | 56,8 |
| ШХ15СГ | 2 | 63,5 | 62,5 | 62,0 | 60,0 |
| | 4 | 63,0 | 61,6 | 60,5 | 58,8 |
| | 6 | 62,7 | 61,2 | 60,1 | 58,6 |

Таблиця 3.12. Зносостійкість шарикопідшипникових сталей

| HRC | Відносний знос сталей мг/ (мм ² · м) | |
|---------|--|--------|
| | ШХ15 | ШХ15СГ |
| 58 - 59 | 0,0267 | 0,0270 |
| 61 - 62 | 0,0240 | 0,0252 |

Після гартування деталі мають метастабільну структуру мартенситу. Нагрівання під час відпуску збільшує рухливість атомів, що сприяє утворенню більш рівноважної структури. Основним процесом під час відпуску є розпад мартенситу. Під час відпуску сталі відбувається зміна стану матричної фази – мартенситу, коли виділяється вуглець з решітки мартенситу. Цей процес починається при 100°C і триває до 300°C, одночасно відбувається збільшення карбідних часточок. Структура сталі після розпаду мартенситу зберігається дрібнозернистою, тому що температури досить низькі для того, щоб атоми вуглецю могли дифундувати на далекі відстані, а процес розпаду мартенситу супроводжується утворенням нових часточок карбіду.

При температурах 100-200°C відбувається *перше перетворення*, яке полягає у виділенні частини вуглецю у вигляді метастабільного ϵ - карбіду. Дуже дисперсні його кристали когерентно зв'язані з решіткою мартенситу. Зниження кількості вуглецю зумовлює зменшення тетрагональності решітки мартенситу, зменшенням внутрішніх напружень та крихкості сталі.

Отже, враховуючи вищевикладене, вибираємо температуру відпуску 170°C, витримка в печі 2 години і охолодження на повітрі .

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Швидкість охолодження при відпуску впливає на рівень внутрішніх напружень. Зменшення швидкості охолодження при всіх видах відпуску сприяє зниженню внутрішніх напружень у загартованих деталях.



Рисунок 3.7 – Структура сталі ШХ15 –Ш після відпуску

Деталі підшипників після гартування і низького відпуску мають структуру мартенситу відпуску з рівномірно розподіленими дрібними карбідами .

3.4. Методи та прилади для контролю якості термічної обробки

Згідно ГОСТ 801 – сталь на всіх етапах одержання та обробки піддається контролю. На стадії одержання сталі під час плавки контролюють її хімічний склад.

Після виготовлення прокату контролюють якість поверхні неруйнівними методами контролю.

Наявність залишків металургійних дефектів: усадочної раковини, пористості, забрудненості неметалевими включеннями (за окремими шкалами оксиди, сульфіди, силікати) також підлягають контролю [18].

Допускається контролювати макроструктуру і усадочну раковину неруйнівними методами контролю.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Глибина знеуглецьованого шару контролюється на спеціально підготовлених зразках, для не відпаленої сталі дозволяється перевірка по виду зламу чи за показниками твердості [16].

Якість гартування також контролюють по виду зламу. У правильно загартованій сталі злам має бути шовковистим, фарфоровидним (рис.3.8). Злам з помітною зернистістю свідчить про перегрів сталі. Занозистий злам – у сталі, що піддавалась неповному гартуванню.



Рисунок 3.8 – Вид зламу термообробленої сталі

Металографічними дослідженнями контролюють мікроструктуру: мікропористість, виявляють неметалеві включення, визначають дисперсність перліту, розмір зерна, наявність рядкової структури, ступінь карбідної ліквідації та карбідної сітки, визначають прогартуваність сталі [17].

Основним обладнанням для проведення термічної обробки деталей підшипника – кілець та кульок є електричні печі різних модифікацій. Нормалізацію та ізотермічний відпал проводять в печах типу СНЗ - 2,5.5.1,7/10 (рис.3.9)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 59 |

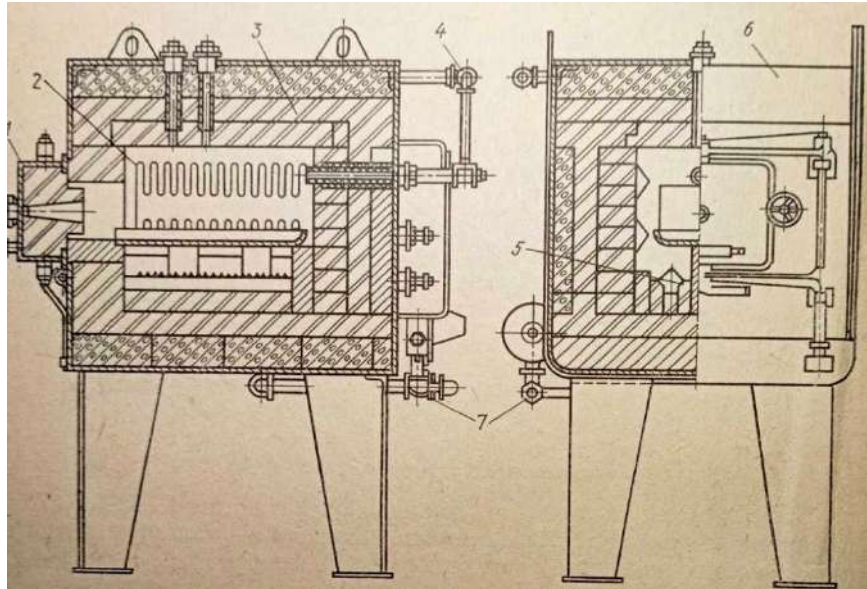


Рисунок 3.9 – Камерна електрична піч з захисною атмосферою типу СНЗ -2,5.5.1,7/10: 1 – дверцята; 2 – боковий нагрівач; 3 – футеровка; 4 – газопровід; 5 – під; 6 – кожух; 7 - трубопровід

Це піч опору періодичної дії, з захисною атмосферою, розміри робочого простору 500 x 250 x 170 мм, максимальна температура нагрівання 1000°С. Живляться нагрівальні елементи печі від трифазної мережі через трансформатор. Робоча температура печі регулюється автоматично. Кожух печі герметичний. Витрати захисного газу на робочу камеру - 2,5 м³/год. Потужність печі 12кВт.

Захисну атмосферу подають по газопроводу через задню торцеву стінку. В нижній частині кожуху печі кріпиться трубопровід з двох ліній: по одній подається газ, по і іншій повітря. Газ і повітря змішуються в пальнику, при згорянні створюють полуменеву газову завісу при відкритих дверцятах. Таку піч можна використовувати також для відпуску сталі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 60 |

Камерна піч при нагріванні зразків для гартування має забезпечити перепад температур не більше $\pm 4^{\circ}\text{C}$ в просторі печі та $\pm 3^{\circ}\text{C}$ – в часі.

Термічну обробку кульок для підшипників здійснюють в печах барабанного типу (рис.3.10).

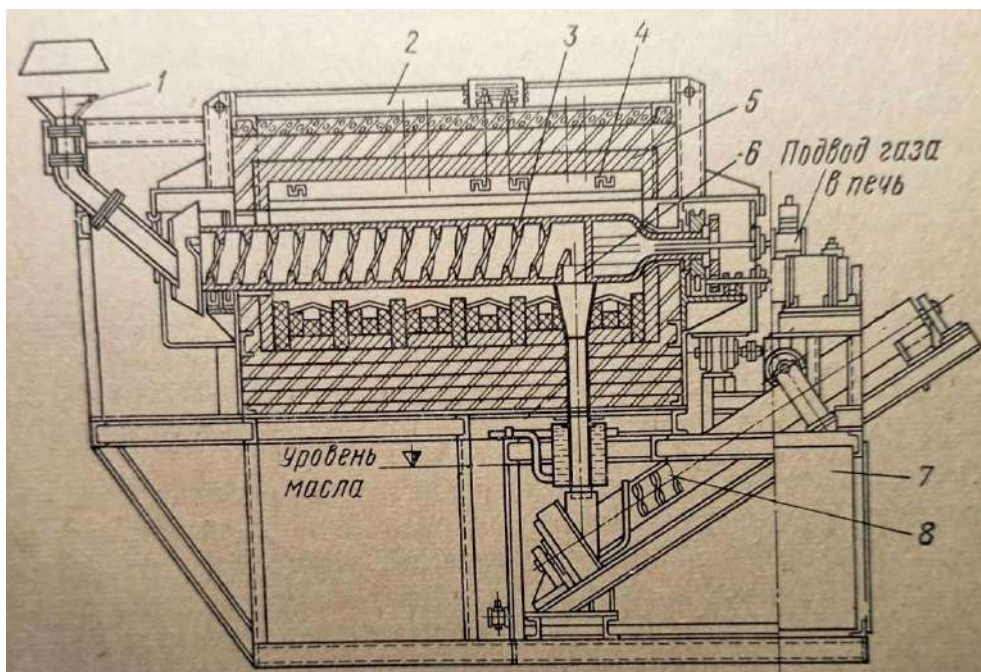


Рисунок 3.10 – Електрична барабанна піч типу СБЗ: 1 – завантажувальний пристрій; 2 – кришка; 3 – барабан (муфель); 4 – нагрівальні елементи; 5 – футеровка; 6 – отвір для вивантаження; 7 – гартівний бак; 8 – шнековий пристрій

Барабанні печі використовують для термічної обробки дрібних деталей і тіл кочення підшипників. Барабан постійно обертається і виконує роль муфеля. Деталі завантажують в бункер, звідки вони подаються у циліндровий муфель. Піч оснащена шнековим пристроєм, який призначений для просування деталей. При закінченні циклу термічної обробки барабан нахилиється і всі деталі висипаються в гартівний бак. В барабанних печах

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------|
| | | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | 61 |

завдяки постійному перемішуванню деталей забезпечується висока та стабільна якість обробки. В таких печах обробляють деталі масою до 0,3 кг.

Твердість визначають за методом Роквелла (HRC) з використанням приладів (рис.3.11) за ДСТУ ISO 6508 -1:2013. Твердість різних партій сталі повинна замірятись на одному і тому ж твердомірі і тим самим конусом.



Рисунок 3.11 – Прилад для вимірювання твердості за методом Роквелла
- цифровий твердомір Novotest TC-P -Ц

Суть вимірювання твердості методом Роквелла полягає в тім, що індентор – алмазний конус – заглиблюється досліджувану поверхню під дією певної прикладеної сили.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 62 |

Випробування на прогартуваність сталі виконують методом торцевого гартування на спеціальній установці.

Мікроструктуру сталі перевіряють на металографічних мікроскопах на поперечних зразках, вирізаних у вигляді шайб, товщиною 10—25 мм (рис.3.12)



Рисунок 3.12 – Металографічний мікроскоп ММР прямий

Такі мікроскопи дозволяють отримувати зображення із збільшенням максимально у 1600 раз.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230. 000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 63 |

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИНИ АВТОМОБІЛЯ

Маршрутна технологія виготовлення деталі містить послідовність технологічних операцій та вказується обладнання для виконання запланованих операцій.

В таблиці 4.1 описана технологія виготовлення кілець підшипника.

Маршрутна технологія містить послідовні дії : отримання трубною заготовки для кілець, попередня термічна обробка, виготовлення кілець механічною обробкою, термічна обробка, чистова механічна обробка, вихідний контроль.

Маршрутна технологія одержання кілець підшипників (табл.4.1)

Таблиця 4.1. Маршрутна технологія отримання кілець підшипника.

| № операції | Найменування операції | № переходу | Найменування переходів | Основне обладнання | Допоміжне обладнання |
|-------------------------|---------------------------|------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Етап 1. Отримання труби | | | | | |
| 1.1 | Термічна обробка прутків | 1 | Сфероїдизація | Нагрівальна піч | |
| 1.2. | Одержання безшовної труби | 2 | Прошивання гільзи | Стан поперечної прокатки | Нагрівальна піч |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 64 |

| | | | | | |
|---------------------|-------------------|----|------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| 1.3 | Прокатка | 3 | Розкатування гільзи труби | Автоматичний стан | Нагрівальна піч |
| 1.4 | Прокатка | 4 | Обкатка гільзи | Обкатний стан | |
| 1.5 | Прокатка | 5 | Калібрування | Калібрувальний стан | |
| Виготовлення кілець | | | | | |
| 1.6 | Термічна обробка | 1 | Нормалізація | Нагрівальна піч | |
| 1.7 | Механічна обробка | 2 | Розрізання труби на мірні кільця | Токарний верстат | Різці |
| 1.8 | Механічна обробка | 3 | Розточування внутрішнього діаметра | Токарно-гвинторізний верстат | Різці |
| 1.9 | Механічна обробка | 4. | Обточування зовнішнього діаметру | Токарний верстат | Різці. |
| 1.10 | Термічна обробка | | Гартування | Камерна піч | Гартівний бак |
| | Термічна обробка | | Відпуск | Камерна піч | піддон |
| 1.10 | Механічна обробка | | Шліфування | Шліфувальний верстат | Шліфувальні круги |
| | Механічна | | Полірування | Поліруваль | Абразивні |

| | | | | | |
|-----|---------------------------------|---|--|---------------------|------------------------------|
| | обробка | | | - ний автомат | пасти |
| | Контроль розмірів | | ЦЗЛ | Мікрометр | |
| | Контроль твердості | | ЦЗЛ | Твердомір ТК-2 | Вимірювал ь-ні плити |
| 1.6 | Контроль мікро- структури | 2 | ЦЗЛ Металографіч ні дослідження | МІМ -7 | Реактиви для травлення |

Маршрутна технологія одержання кульок для підшипників (табл.4.2).

Таблиця 4.2. Маршрутна технологія отримання кульок підшипника.

| № операції | Найменування операції | № переходу | Найменування переходів | Основне обладнання | Допоміжне обладнання |
|---------------------------|-----------------------|------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Етап 1. Отримання прутків | | | | | |
| 1 | Термообробка | 1 | Нагрівання слябів | Камерна піч | Рольганг |
| 2 | Прокатка | 1 | Одержання сортового прокату | Тривалковий стан | рольганг |
| 3 | Прокатка | 2 | Калібрування | Калібрувал | візок |

| | | | | | |
|----|----------|---|--------------------------------|--|-----------------------|
| | | | | ванни | |
| 13 | Контроль | 1 | Контроль розмірів , шорсткості | Штангенциркулі, кінцеві міри, інструментальний мікроскоп | Еталони шорсткості |
| 14 | Контроль | 2 | Макро- та мікроструктури | Мікроскопи, | реактиви |
| 15 | Контроль | 3 | Тріщин | Магнітний дефектоскоп | Технологічні речовини |

Виконання вищеописаних операцій дозволить виготовити деталі підшипників – кільця та кульки за економними технологіями, де операції механічної обробки зведені до мінімуму – (впроваджено тільки шліфування і полірування), що сприяє значній економії металу, з високоякісного матеріалу та з високими експлуатаційними властивостями (табл.4.3).

Таблиця 4.3. Властивості сталі ШХ15 –Ш після термічної обробки

| | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|-----|--------------|------------|---------------------------|-------------|
| Режим термічної обробки | Механічні властивості сталі ШХ15- Ш | | | | | |
| | МПа | МПа | $\delta, \%$ | $\Psi, \%$ | КСУ Дж/см ² | НРС (НВ) |

| | | | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|----|----|-------|--------------|
| Відпал | 370 - 410 | 590 -730 | 15 | 25 | 35-55 | 179 - 207 |
| Гартування + відпуск | 1670- 1700 | 2160- 2200 | - | - | 5 | 60- 65 |

ВИСНОВКИ

1. Зроблено аналіз умов роботи підшипника маточини автомобіля.
2. Вибрано матеріал для виготовлення деталей підшипника – кілець та кульок.
3. Розглянуті і вивчені особливості металургійних способів одержання сталі для підшипників. Досліджено вплив забрудненості сталі неметалевими включеннями на довговічність підшипників.
4. Рекомендовано для виготовлення підшипників вибирати сталі після електрошлакового переплаву.
5. Рекомендовано виготовляти кільця та кульки обробкою тиском, що скорочує витрати матеріалу.
6. Розроблені режими термічної обробки для зміцнення деталей підшипника.
7. Розглянуті фазові і структурні перетворення в сталі ШХ15 –Ш при проведенні термічної обробки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 69 |

8. Рекомендовано для запобігання окиснення деталей використовувати для термічної обробки печі із захисною атмосферою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дубовий О. М., Казмиренко Ю. О., Лебедева Н. Ю., Самохін С. М. Інженерне матеріалознавство. Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів. Миколаїв НУК, 2009. – 444 с.
2. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
3. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання - Прес, 2003. – 511с.
4. Підшипники кочення: Ч.1. Кулькові підшипники [Електронний ресурс] : навч. наоч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. А. К. Скураговський. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с.
5. Гайдамака А. В. Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення: навч. посіб./А. В. Гайдамака. – Х. : НТУ «ХП», 2009. – 248 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

6. ДСТУ ГОСТ 520:2014 Підшипники кочення. Загальні технічні умови (ГОСТ 520-2011, IDT; ISO 492:2002, NEQ; ISO 199:2005, NEQ).
7. ДСТУ 3012-95. Підшипники кочення та ковзання. Терміни та визначення. чинний від 1996-01-01. Офіц.вид. К. : Держстандарт України, 1995. 75 с.
8. ГОСТ 801 – 78. Сталь шарикопадшипникова. Технічні умови.
9. Дяченко С.С., Дощечкіна І. В., Мовлян А.О., Плешаков Е.І.
Матеріалознавство: підручник / За ред. проф. С.С. Дяченко. - Харків: ХНАДУ, 2007. – 440с.
10. Винокур Б. Б. Флокени в сталі (огляд) / Б. Б. Винокур // Металознавство та обробка металів. — 2009. — № 2. — С. 45-50. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MOM_2009_2_15.
11. Дробот О.С., Підгайчук С.Я., Боровик Л.В. Технологія конструкційних матеріалів і основи матеріалознавства в технічних системах охорони державного кордону. Навчальний посібник. Рекомендований Вченою Радою Національної академії Державної прикордонної служби України ім.Б.Хмельницького. м. Хмельницький. НАДПСУ, 2019. 264с.
12. Матеріали для виготовлення виробів транспортного призначення : навч. посіб. / Л .А. Тимофеева, С. С. Тимофеев, І. І. Федченко, Г. Л. Комарова, В. М. Остапчук. Харків : УкрДУЗТ, 2017. 173 с.
13. Мисливченко, О. М., Говорун Т. П. Дефекти при кристалізації металів // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (Суми, 19 — 23 квітня 2010 року) / Редкол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. — Суми: СумДУ, 2010. — Ч.ІІ. — С. 191—192.
14. Деталі машин. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Вивчення конструкцій підшипників кочення» для студентів напрямів підготовки, 6.050502 Інженерна механіка, 6.070106 Автомобільний транспорт. Автори: К.А. Зіборов, та інш. – Д.: ДНВЗ.- «Національний–транспорт. гірничий університет», 2012. – 32 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 71 |

15. ДСТУ ISO 6508 -1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Рокеллом.

16. ДСТУ 8967 -2019. Сталь. Методи визначення знеуглецьованого шару.

17. ДСТУ 8966 -2019. Сталь. Методи визначення неметалевих включень.

18. ДСТУ 8975 -2019. Сталь. Метод випробувань та оцінки макроструктури.

ДОДАТКИ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | КРМТВАТАМ 21230.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 72 |