

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження впливу технології виготовлення та рівня легування на експлуатаційну стійкість вальницьових сталей
(назва теми)

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

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

СТРЕКАЧОВ Д.Г.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КЛИМОВ О.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
 «_____» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
СТРЕКАЧОВ Данііл Геннадійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження впливу технології виготовлення та рівня легування на експлуатаційну стійкість вальницьових сталей

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент КЛИМОВ Олександр Володимирович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» квітня 2023 року № 122

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) ескіз вальниці кочення, вимоги до матеріалу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) характеристика та умови експлуатації виробу, вимоги до матеріалу, номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення, характеристика матеріалів виробів, розробка режимів та технології термічної обробки, технічний контроль попередження та виявлення дефектів, технічний контроль попередження та виявлення дефектів, спеціальна частина

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

Ескіз вальниці кочення, хімічний склад сталі ШХ15, режим термічної обробки, механічні властивості, графік термічного оброблення сталі ШХ15, мікроструктура після ТО,

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
2	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
3	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
4	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
5	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
6	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
7	КЛИМОВ О.В, доцент, к.т.н		
	ТКАЧ Д.В, доцент, к.т.н		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробу. Вимоги до матеріалу	19.04.2023	
2	Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення	26.04.2023	
3	Характеристика матеріалів виробів	15.05.2023	
4	Розробка режимів та технології термічної обробки	25.05.2023	
5	Технічний контроль попередження та виявлення дефектів	30.05.2023	
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	01.06.2023	
7	Спеціальна частина	05.06.2023	

Студент(ка)

_____ (підпис) _____ (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ (підпис) _____ (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 63с., 10 табл., 8 рис., 4дод., 15 джерел.

ВАЛЬНИЦЯ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ШХ15, КОНТРОЛЬ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ЗАХИСНА АТМОСФЕРА, ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ

Об'єкт дослідження – вальниця кочення зі сталі ШХ15

Метою дипломної роботи є на основі аналізу умов експлуатації вальниці розробити маршрутну технологію та режим термічної обробки сталі ШХ15.

Для досягнення необхідних властивостей вальниць кочення важливим етапом є термічна обробка матеріалу. Вибір оптимальної технології термічної обробки, яка включає попередню, основну та додаткову обробку, обґрунтовано з урахуванням вимог до механічних властивостей та структури матеріалу. Застосування післяопераційного контролю властивостей та мікроструктури на різних етапах термічної обробки дозволить виявити можливі дефекти та забезпечити високу якість виробу.

Зазначено вплив легувальних елементів на властивості та структуру сталі, обрані засоби контролю якості виробу. Запропоновано спосіб покращення механічних та експлуатаційних властивостей шляхом інтенсивної пластичної деформації.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	6
Вступ.....	7
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	8
2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення.....	13
3 Характеристика матеріалів виробів	17
4 Розробка режимів та технології термічної обробки	26
5 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів	44
6 Охорона праці та безпека життєдіяльності	49
7 Спеціальна частина	51
Висновки	57
Перелік джерел посилань	58
Додаток А Ескіз підшипника кочення, хімічний склад сталі ШХ1557	
Додаток Б Механічні властивості та режим термічної обробки вальниці.....	58
Додаток В Графік термічного оброблення сталі ШХ15.....	59
Додаток Г Мікроструктура сталі після термічної обробки.....	60

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

HV – твердість за Вікерсом;

HB – твердість за Брінелем;

σ_T – границя плинності;

σ_B – границя міцності;

δ_5 – відносне видовження;

ψ – відносне звуження;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

A_3, A_4 – температури поліморфного перетворення заліза;

л.е. – легувальні елементи;

ТО – термічна обробка;

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

М – мартенсит.

ВСТУП

У конструкціях сучасних машин та обладнання широко застосовують вальниці кочення. Особливе значення вони мають під час установки валів високого та низького тиску, наприклад, у газотурбінних двигунах, двигунах внутрішнього згоряння. Вальниці кочення сприймають як радіальні, так і осьові навантаження, які діють на вал, і передають їх на корпус машини або обладнання.

Надійність і працездатність окремих вузлів, а також всієї конструкції в цілому, значною мірою залежать від якості та механічних характеристик вальниць та правильного врахування умов їх експлуатації.

У машинобудівній промисловості вальниці кочення широко використовуються у різних вузлах і механізмах. Вони забезпечують оптимальну роботу валів, дозволяють передавати навантаження і забезпечувати точність руху. При виборі вальниць для вузла необхідно враховувати вимоги до навантажень, температурного режиму та можливого впливу корозії.

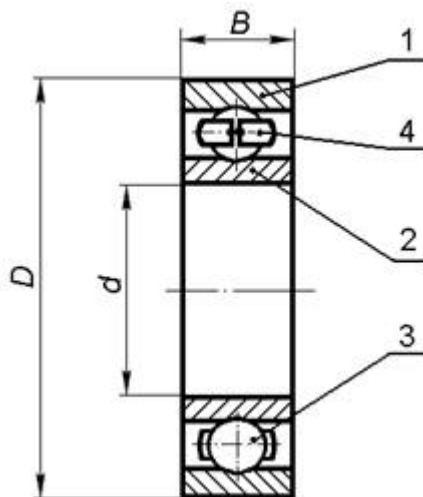
Важливим аспектом виробництва вальниць для машин та обладнання є правильне термічне оброблення сталей, з яких вони виготовляються. Термічне оброблення включає процеси нагрівання, витримки та охолодження сталі з метою досягнення певних механічних властивостей і структури матеріалу.

Термічна обробка дозволяє контролювати структуру сталі, розмір зерна, фазовий склад, що впливає на механічні властивості. Відповідно до вимог проєкту та специфікації, правильна термічна обробка може забезпечити оптимальну комбінацію міцності, в'язкості і твердості для вальницьових сталей.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

Вальниці кочення призначені підтримувати вали й осі, що обертаються, у просторі, забезпечуючи їм можливість вільного обертання або хитання, і сприймати навантаження, що діють на них. Крім осей і валів, вальниці кочення можуть підтримувати деталі, що обертаються навколо нерухомих осей, наприклад, блоки, шківи тощо.

Вальниці кочення (рисунок 1.1) у більшості випадків складаються із зовнішнього кільця, внутрішнього кільця, тіл кочення (кульок або роликів), сепаратора. У деяких вальницях кочення для зменшення їх габаритів одне або обидва кільця відсутні, а в деяких відсутній сепаратор[1].



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

Рисунок 1.1 – Кульковавальниця кочення

Вальниці ковзання встановлюються у вузлах корінних (опорних) та шатунних шийок колінчастого валу. Виготовляються такі вальниці зі сталевोї

стрічки у формі двох «півмісяців» або циліндричних втулок, з'єднаних між собою та з блоком двигуна спеціальним замком. Зверху вальниці із шийками фіксуються кришками на болтах. На поверхню тертя вальниці колінчастого валу наносять спеціальне «антифрикційне» покриття, яке перешкоджає зношуванню[2].

Вальниці ковзання можуть працювати в режимі рідинного або піврідинного тертя. У режимі рідинного тертя поверхні не стикаються, обертання здійснюється на шарі масла, під навантаженням утворюється так званий масляний клин. У випадку напіврідинного режиму тертя буде рідинним і граничним (змішаним). При граничному терті робота здійснюється на тонкій плівці масла.

Переваги вальниць кочення для опор у порівнянні з іншими видами опор:

- малі втрати на тертя, що забезпечує високий ККД опор (до 0,99);
- висока несуча здатність;
- малі габаритні розміри в осьовому напрямку;
- незначні витрати мастильних матеріалів;
- невисокі вимоги до матеріалу та якості поверхонь цапф валів і осей,

що розміщуються у вальниць кочення.

До недоліків вальниць кочення належать такі:

- значні габаритні розміри, що ускладнює застосування їх при малих відстанях між осями валів;
- обмежений строк служби, при великих навантаженнях та швидкостях;
- низька здатність демпфувати ударні навантаження;
- підвищений шум при високих швидкостях обертання [3].

Кулькові вальниці краще працюють при підвищених швидкостях обертання і менш чутливі до перекосів. Роликові вальниці мають більш високу вантажність (приблизно на 70– 100 %) порівняно з кульковими.

Конструкція опор кочення, правильне складання і монтаж вальниць суттєво впливають на надійність та довговічність роботи вальниць кочення.

Вальниці монтують так, щоб забезпечувалось потрібне радіальне та осьове фіксування валу, але при цьому вони не повинні додатково навантажуватись силами, які виникають внаслідок дії високих натягів у посадках кілець, температурних деформацій, перетяжки при монтажі, перекосів кілець [4].

Посадки кілець вальниць на вал і в гніздо корпусу залежать від режиму роботи, виду навантаження, типу вальниці та способу його регулювання. Розрізняють два основних види навантажень вальниць: циркуляційне і місцеве.

Циркуляційне навантаження, при якому кільце вальниці обертається щодо вектору дії сили, наприклад внутрішнє кільце вальниці, яке розміщене на валу із зубчастим колесом. Таке кільце ставлять на вал із натягом. У іншому разі через зазор воно почне обкочуватись по цапфі, що спричинить її спрацювання.

Місьцеве навантаження, при якому кільце не обертається щодо вектору діючої сили. Таке навантаження здійснюється відносно зовнішнього кільця вальниці, який поставлений на вал із зубчастим колесом навантаженої передачі. У випадку місцевого навантаження кільця вальниць ставлять із невеликим зазором або малим натягом. Така посадка дозволяє кільцю під дією поштовхів та вібрацій періодично повертатись навколо своєї осі та вступати в роботу новим навантаженим ділянкам бігової доріжки [5].

Кільця вальниць, які повинні при регулюванні зазорів переміщуватись на валу або в корпусі, встановлюють по рухомій посадці. Щоб зменшити тертя між тілами кочення, кільцями і сепаратором, захистити від корозії та підвищити герметизацію робочої зони вальниць кочення, їх періодично змащують.

Із змінними контактними напруженнями зв'язаний втомний характер руйнування робочих поверхонь деталей вальниць (викришування). Опір втомі вальниці залежить від того, яке з кілець обертається – внутрішнє або зовнішнє. Сприятливим є випадок обертання внутрішнього кільця (при цьому зовнішнє кільце нерухомо).

Кулька в вальниці здійснює планетарний рух. Між сепаратором і кульками можуть виникати значний тиск і сили тертя. З цим пов'язано зношення кульок і сепараторів, збільшення втрат в вальниці у і випадки поломки сепараторів. Це обумовлює високі вимоги до точності виготовлення деталей вальниць і, відповідно, сепаратора як однієї з цих деталей.

Контактні напруження у зовнішнього кільця менші ніж у внутрішнього, тому додаткове навантаження відцентровими силами практично не впливає на працездатність вальниці. Це положення залишається справедливим тільки до деяких значень частот обертання, які вважаються нормальними для даної вальниці [6].

Мастило істотно впливає на довговічність вальниць. Воно зменшує тертя, знижує контактні напруження, захищає від корозії, сприяє охолодженню вальниці. Для змащування вальниць кочення застосовують пластичні (густі) мазі і рідкі мастила. Рідке мастило більш ефективно для охолодження і зменшення втрат. Необхідна кількість мастила для вальниць кочення дуже невелика. Зайва кількість мастила тільки погіршує роботу вальниць. Наприклад якщо сепаратор занурити в мастило, то воно перешкоджатиме його вільному обертанню, збільшуються втрати і нагрівання вальниці. Вальницеві вузли необхідно ретельно захищати від потрапляння пилу і бруду. В іншому випадку довговічність вальниць різко знижується [7].

Вальниці кочення втрачають свою працездатність внаслідок руйнування їх деталей, яке проявляється в різних формах. Втомне викришування робочих поверхонь відбувається в результаті дії циклічно змінних контактних напружень на бігових доріжках кілець і спостерігається у вальницях, які тривало працюють у нормальних умовах. Здебільшого викришування починається на доріжках кочення найбільш напружених кілець: у більшості вальниць – на внутрішніх, а у сферичних – на зовнішніх кільцях [8].

Враховуючи вищенаведені умови експлуатації вальниць колінчастого валу двигунів внутрішнього згоряння можна зазначити такі умови до матеріалу вальниць: твердість 62...65 HRC, $\sigma_B = 2550$ МПа, $\sigma_{-1} \geq 800$ МПа. Таким характеристикам відповідають сталі спеціального призначення класу вальницевих (типу ШХ), які слід обрати для виготовлення даного виробу.

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних інструментальних, спеціальних заготівельних підприємствах уявляє собою логічну послідовність технологічних операцій виконання яких дозволяє отримати якісні вироби із відповідними характеристиками та властивостями матеріалу.

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі. У відділенні термічної обробки проходять термічну обробку вальниць кочення. Ескіз деталі наведено на рис. 1.1. У табл. 2.1 наведено номенклатуру оброблюваних деталей у відділенні.

Таблиця 2.1 – Номенклатура виробів, які зазнають термічного поліпшення

№ п/п	Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Разміри виробу, мм				Вимоги до матеріалу
				B	d	h	D	
1	2	3	4	5	6	7	8	8
1	Вальниця кочення	ШХ15		14	12	-	35	62...65 HRC $\sigma_B = 2550$ МПа $\sigma_{-1} \geq 800 \text{ МПа}$

Маршрутна технологія уявляє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та

забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей.

Вальниці складаються із декількох конструктивних компонентів, а саме кільця, тіла кочення, сепаратор, захисні шайби, заклепки. Тому, слід розглянути маршрутні технології виготовлення основних компонентів, а саме кілець та тіл кочення (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Маршрутна технологія виготовлення вальниці кочення колінчастого валу ДВЗ виготовленого зі сталі ШХ15

№	Назва операції	Цех(дільниця)	Призначення
1	2	3	4
	Виготовлення кілець		
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, відсутності дефектів прокату (прутків, труб).
2	Заготівельна	Заготівельний цех	Отримання заготовок із труб та прутків за розрахованим діаметром
3	Попередня обробка	Механічний цех	Вальцювання вихідної заготовки, що уявляє стиснення, сплюснення вихідного шару заготовки для надання йому більшої щільності та рівномірної товщини.
4	Заготівельна	Механічний цех	Проводять токарні роботи , спрямовані на нарізання окремих кілець та загальну обробку поверхні.

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
5	Термічна обробка	Термічний цех	Отримання необхідної структури та властивостей (гартування + низькотемпературне відпускання).
6	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Шліфування торцевих, внутрішніх та зовнішніх поверхонь, доріжок кочення.
7	Контроль	Механічний цех	Повний контроль виробу згідно робочого креслення.
	Виготовлення тіл кочення		
1.	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, відсутності дефектів прокату (дроту).
2	Заготівельна	Заготівельний цех	Отримання заготовок із спеціального сталюого дроту певного діаметру.
3	Механічна обробка	Механічний цех	Деталі здавлюють спеціальним пресом для надання їм кулеподібної форми, після чого проводять обробку тиском для отримання високоточних розмірів деталей (з допуском у 100мкм).

Кінець таблиці 2.2

1	2	3	4
4	Термічна обробка	Термічний цех	Отримання необхідної структури та властивостей (гартування + низькотемпературне відпускання).
5	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Шліфування та полірування виробів.
6	Контроль	Механічний цех	Повний контроль виробу згідно робочого креслення.
	Виготовлення вальниці		
1	Складальна операція, контроль	Складальний цех	Пос'єднання деталей виробу, змащення вузла та контроль якості складання.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

Як було зазначено у розділі 1, для виготовлення вальниці колінчатого валу ДВЗ було обрано групу вальницевих сталей. Вальницеві сталі насамперед повинні мати високу твердість, тому використовують високовуглецеві сталі типу інструментальних (іноді низьковуглецеві в цементованому стані). Для того, щоб вальницева сталь легко гартувалася (тобто мала низьку критичну швидкість гартування) та як гартівне середовище для неї можна було використати масло, сталь легують (зазвичай хромом). Тобто хром вводять для забезпечення необхідної прогартованості. Тому чим менше розмір деталі вальниці для гартування, тим менше може бути вміст хрому в сталі.

Особливостями характеру роботи вальниці є високі локальні навантаження, і, наслідком цього, надзвичайно високі вимоги до чистоти сталі за неметалічними включеннями, карбідною неоднорідністю та ін. Основні вимоги яким повинні відповідати вальницеві сталі:

- висока статична вантажопідйомність - граничне навантаження, при якому залишкові деформації в зоні контакту не перевищують 0,01% від діаметра кульки або ролика. Необхідна статична вантажопідйомність - а вона повинна бути значною, оскільки тиск в області контакту при роботі вальниці сягають 2000...4000 МПа, досягається застосуванням в якості матеріалу для вальниць заєвтектоїдних легованих хромом сталей, оброблених на високу твердість;

- високий опір контактній втомі. Ця характеристика надзвичайно сильно залежить від наявності металургійних дефектів різної природи, особливо сульфідних та оксидних включень, а також водню, оскільки вальницеві сталі флокеночутливі. При виробництві вальницевих сталей застосуванню рафінуючих переплавів приділяється особлива увага.

Переплави, що рафінують, дозволяють значно знизити забрудненість сталі неметалевими включеннями, що, як наслідок, приводить до удорожчання сталі.

Не менш шкідливим фактором, з точки зору контактної втоми, є карбідна неоднорідність (карбідна сітка, рядкові включення карбідів тощо). Спосіб усунення цього дефекту полягає у проведенні оптимальної пластичної та термічної обробки;

- зносостійкість, у тому числі абразивна, досягається введенням у сталь $\sim 1,0\% \text{ C}$ та $1,5\% \text{ Cr}$. Вплив хрому на зносостійкість визначається тим, що він збільшує кількість карбідної фази і якісно змінює її склад, дозволяючи отримувати тверді спеціальні карбіди;

- високий опір малим пластичним деформаціям. Ця вимога є найбільш актуальною для вальниць точних приладів;

- розмірна стабільність. Залежно від розмірів та класу точності вальниць зміни розмірів під час експлуатації не повинні перевищувати $10^{-4} \dots 10^{-5}$ мм/мм. Розмірна стабільність залежить від вмісту залишкового аустеніту в сталі. При збільшенні кількості залишкового аустеніту розмірна стабільність погіршується, оскільки залишковий аустеніт є нестабільною структурною складовою і при високих навантаженнях може перетворюватися у мартенсит, що супроводжується об'ємними змінами [9];

Умови експлуатації вальниць супроводжується значними локальними навантаженнями, тому висувуються високі вимоги до чистоти сталі за неметалевими включеннями, карбідною неоднорідністю тощо.

Вальниці сталі зазвичай класифікуються за умовами роботи: розрізняють сталі загального застосування, що використовуються для виготовлення деталей вальниць (кілець, кульок, роликів), що працюють при температурах $60 \dots 300^\circ\text{C}$ у неагресивних середовищах, та сталі спеціального призначення, призначені для виготовлення теплостійких та корозійностійких вальниць.

Для виготовлення вальниці була обрана сталь вальницева сталь ШХ15. Хімічний склад, температури критичних точок, оптимальний режим термообробки та механічні властивості сталі ШХ15 зазначено у таблицях 3.1 ... 3.3.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі ШХ15 [ДСТУ 4738:007]

Сталь	Хімічний склад, %(мас.)							
	C	Si	Cu	Mn	Ni	P	Cr	S
ШХ15	0,95- 1,05	0,17- 0,37	≤0,25	0,20 - 0,40	≤0,30	≤0,027	1,30 - 1,65	≤0,020

Таблиця 3.2 – Температура критичних точок сталі ШХ15, °C[10]

A _{c1}	A _{C3} (A _{Cm})	A _{r3} (A _{rcm})	A _{r1}	M _п
724	900	713	700	210

Таблиця 3.3– Механічні властивості та режим термічної обробки сталі ШХ15

Марка сталі	Режим ТО	Механічні властивості			
		σ _B , МПа	σ _{0,2} , МПа	HRC	σ ₋₁ , МПа при n=10 ⁷
ШХ15	Гартування 830°C, відпуск 150°C, масло.	2300- 2450	1670- 1760	62-65	804

Високий вміст вуглецю в вальницевих сталях обумовлює їхню високу міцність після термічної обробки і стійкість проти стирання. Поверхнева твердість визначається концентрацією вуглецю в мартенситі, тому вона однакова для всіх вальницевих сталей.

Сталь ШХ15 у відпаленому стані відноситься до заевтектоїдних сталей (структура П + КП), в нормалізованому стані – до перлітного класу. Основним легувальним елементом сталі є хром. Легувальні елементи в сталі типу ШХ розчиняються в твердому розчині (Ф, А), утворюючи твердий розчин заміщення, а також входять до складу цементиту $((\text{Fe}, \text{M})_3 \text{C})$, утворюючи легований цементит. Хром і марганець, перебуваючи в сталях у невеликій концентрації, самостійних карбідів не утворюють.

Твердість внутрішніх шарів металу залежить від глибини прогартованості, яка у свою чергу залежить від вмісту хрому. Хром уповільнює перетворення аустеніту в перліт і тим самим збільшує прогартованість сталі, тому чим більші деталі вальниць, тим з більшим вмістом хрому (0,4...1,65 %) застосовують сталь для їх виготовлення.

Крім того, висока твердість карбідів хрому підвищує зносостійкість сталі. Хром збільшує стійкість мартенситу проти відпуску, зменшує схильність сталі до перегріву та надає їй дрібнозернистої структури. Але при високому вмісті хрому ($>1,65\%$) складно отримати однорідну структуру, тому вміст хрому в вальницевих сталях зазвичай не перевищує 1,65%.

Марганець, як і хром, збільшує твердість і опір сталі проти стирання. Але одночасно він сприяє зростанню зерна при нагріванні, внаслідок чого при термічній обробці може утворюватися крупнозерниста структура перегрітої сталі. Негативний вплив на в'язкість вальницевої сталі має кремній. При цьому марганець і кремній є розкислювачами, і чим вище їх вміст, тим повніше розкислена сталь, тому присутність цих елементів в вальницевій сталі всіх марок бажана трохи більша 0,35 %Si і 0,4 %Mn. Виняток становлять сталі, які використовують для виготовлення деталей великих вальниць типу ШХ15СГ. Підвищений вміст марганцю та кремнію в цій сталі пояснюється тим, що ці елементи зменшують критичну швидкість гартування, знижуючи тим самим схильність сталі до жолоблення та тріщиноутворення при гартуванні. Залежність довговічності від вмісту легувальних елементів наведено на рисунку 3.1.

Підвищення суми легувальних елементів до 5% і вище може бути виправдане лише у випадках особливих експлуатаційних умов (корозійне середовище, підвищені робочі температури та ін.), оскільки воно приводить до збільшення витрат на обробку та зниження довговічності (рис. 4.1) порівняно з тими ж показниками традиційних вальницьових сталей.

Зміна змісту легувальних елементів надає різний вплив на властивості вальниць. Додавання молібдену позитивно впливає на довговічність вальниць.

Зараз найбільш повно відповідають вимогам щодо вмісту шкідливих включень сталі, вироблені методом електрошлакового переплаву.

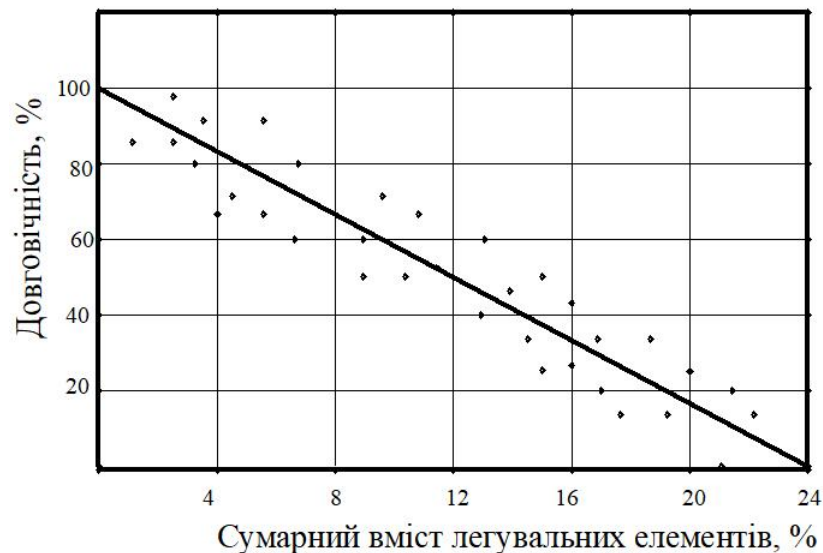


Рисунок 3.1 – Вплив сумарного вмісту легувальних елементів на довговічність вальницьових сталей

Однак цей метал занадто дорогий і, крім того, не встановлено економічну доцільність вимог щодо чистоти металу.

Серед шкідливих елементів для вальницьової сталі можна виділити фосфор, мідь, нікель, кисень, водень, азот, олово, свинець, миш'як.

Фосфор збільшує схильність сталі до утворення крупнозернистої структури при нагріванні, підвищує крихкість та зменшує міцність на згин, що у свою чергу збільшує чутливість сталі до динамічних навантажень та

схильність виробів до появи гартівних тріщин. У зв'язку з цим вміст фосфору у металі обмежують.

Мідь, хоч і збільшує твердість, границю міцності і прогартованість сталі, є небажаною домішкою, оскільки з підвищенням вмісту міді при гарячій механічній обробці збільшується утворення поверхневих тріщин і надривів.

Вміст нікелю обмежують у зв'язку з тим, що його присутність знижує твердість сталі. Олово, свинець і миш'як, а також азот зменшують опір сталі викришуванню.

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

Водень негативно впливає на якість сталі через те, що зниження розчинності його при зниженні температури металу викликає підвищені локальні тиски в металі, що призводять до утворення флокенів.

Розчинність водню в ґратці заліза та його сплавів за нормальних температур дуже мала і підвищується під час нагрівання та зростання зовнішнього тиску. Під час аналізу поведінки водню в металі важливим є питання про те, в якому вигляді він розчинений і дифундує в кристалічну ґратку. Розчинений у металі атом водню, на думку більшості дослідників, іонізований. Наразі найменш суперечливим і найбільш плідним є припущення про знаходження водню в твердих тілах у вигляді позитивних, частково екранованих електронами іонів водню. Між різними станами водню, зокрема між газоподібним воднем у внутрішніх макродефектах і воднем, що розчинений у ґратці, встановлюється динамічна рівновага. Тиск водню в порах залежно від температури, об'єму пор і концентрації водню може

сягати

103...104МПа, а рівень локальних напружень, які при цьому виникають, може істотно перевищувати межу плинності, а в низці випадків і опір відриву. Концентрація водню і його тиск у порах підвищуються при

зниженні температури, а при температурах понад 250...400°C практично весь водень розчинений у гратці металу.

Сірка впливає на властивості вальницевої сталі не однозначно. Негативний вплив позначається на зниженні стійкості проти стирання та втомному руйнуванні при виході на робочу поверхню сульфідів. Однак утворення сульфідної оболонки навколо сульфідних включень при достатньому вмісті сірки зменшує вплив цих включень на концентрацію напружень і внаслідок цього підвищує опір втомі. Зі збільшенням відношення концентрацій S/O до 3...5 стійкість вальниць зростає. Цьому сприяють поліпшення якості поверхні внаслідок того, що сірка покращує оброблюваність сталі. Деякими авторами доведено сприятливий вплив підвищеного вмісту сірки (до 0,15%) на довговічність та оброблюваність вальницевих сталей, хоча сталі з таким вмістом сірки поки що не застосовуються.

Окремо слід відзначити вплив кисню на властивості вальницевої сталі. Взагалі, його вплив на властивості вальницевої сталі, як і на властивості будь-якої іншої спокійної сталі, проявляється через неметалеві включення, що ним формуються. Неметалеві включення в вальницевих сталях є концентраторами напружень і можуть у деяких випадках бути причиною появи мікротріщин, що утворюються від підвищеної концентрації мозаїчних напружень, різкого охолодження при гартуванні та інші. Потрапляючи на поверхню або підповерхневий шар неметалеві включення при прикладанні навантажень руйнуються, викришуються і тим самим формують вогнище зародження тріщини. Імовірність руйнування включень залежить від їх деформовності, тому в сталі подібного типу слід уникати формування крихких недеформованих включень типу корунду і прагнути до утворення пластичних частинок, наприклад, силікатів (при рівному вмісті кисню, вальниці з кислої мартенівської сталі в 2,5 рази довговічніше чим із електросталі, тому що в них замість рядків великих оксидів були глобули силікатів). Імовірність потрапляння включень у поверхневий шар металу

залежить від їх кількості, розміру та форми, тому загальна кількість неметалічних частинок та їх розмір мають бути мінімальними (враховуючи, що кількість включень тісно корелює із вмістом кисню – вміст цього елемента також має бути мінімальним), а їхня форма - глобулярна. У випадку коли в сталі присутня значна кількість великих за розміром включень, довговічність падає катастрофічно: у 100 разів, коли оксидів більше 30 мкм збільшилось в 10 разів. Чим вища твердість і модуль пружності включення, тим більше концентрація напружень у ньому, отже гірша контактна міцність.

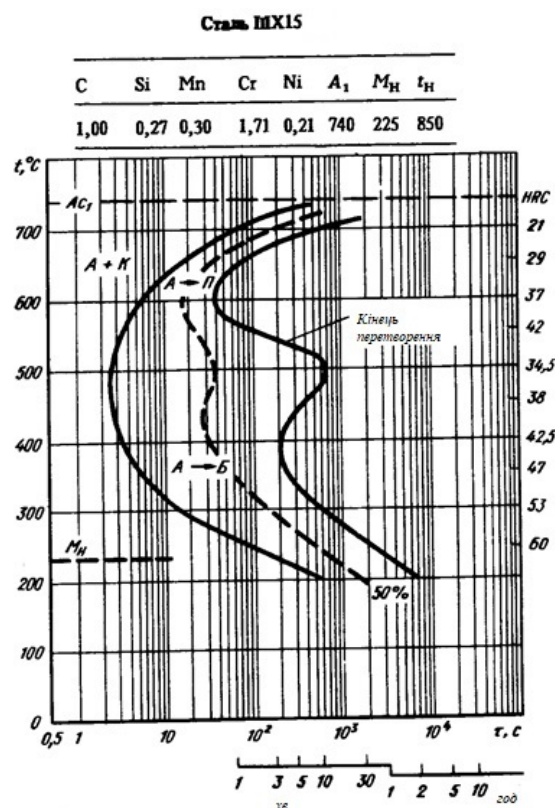


Рисунок 3.2 – Діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі ШХ15[11]

Розрахуємо критичну швидкість охолодження для сталі ШХ15.

$$V_{кр} = (t_H - t_{мин.ст.А.}) / 1,5 \cdot \tau_{мин.ст.А.} \quad (3.1)$$

де t_H – температура нагрівання; $t_H = 850^\circ\text{C}$;

$t_{\text{мін.ст.А}}$ – температура мінімальної стійкості аустеніту; $t_{\text{мін.ст.А}} = 480^{\circ}\text{C}$;

$\tau_{\text{мін.ст.А}}$ – час до мінімальної стійкості аустеніту. $\tau_{\text{мін.ст.А}} = 2,5\text{с}$.

$$V_{\text{кр}} = (850^{\circ}\text{C} - 480^{\circ}\text{C}) / 1,5 \cdot 2,5\text{с} = 98,7^{\circ}\text{C/с}.$$

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Технологія термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення металевого виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу.

У таблиці 3.3 зазначено оптимальний режим термічної обробки як для кілець, так і для тіл кочення. Попередня термічна обробка для заготовок зі сталі ШХ15 полягає у сфероїдизаційному відпалі. До основних операцій відносять: гартування, низькотемпературний відпуск. До допоміжних операцій слід віднести промивання виробів від масла, очищення від окалини, контрольні операції.

Вибір основних операцій термічної обробки необхідно здійснювати таким чином, щоб технологія була високопродуктивною, забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції.

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

На рисунку 4.1 зазначено графік термічної обробки вальниці колінчатого валу двигуна внутрішнього згоряння.

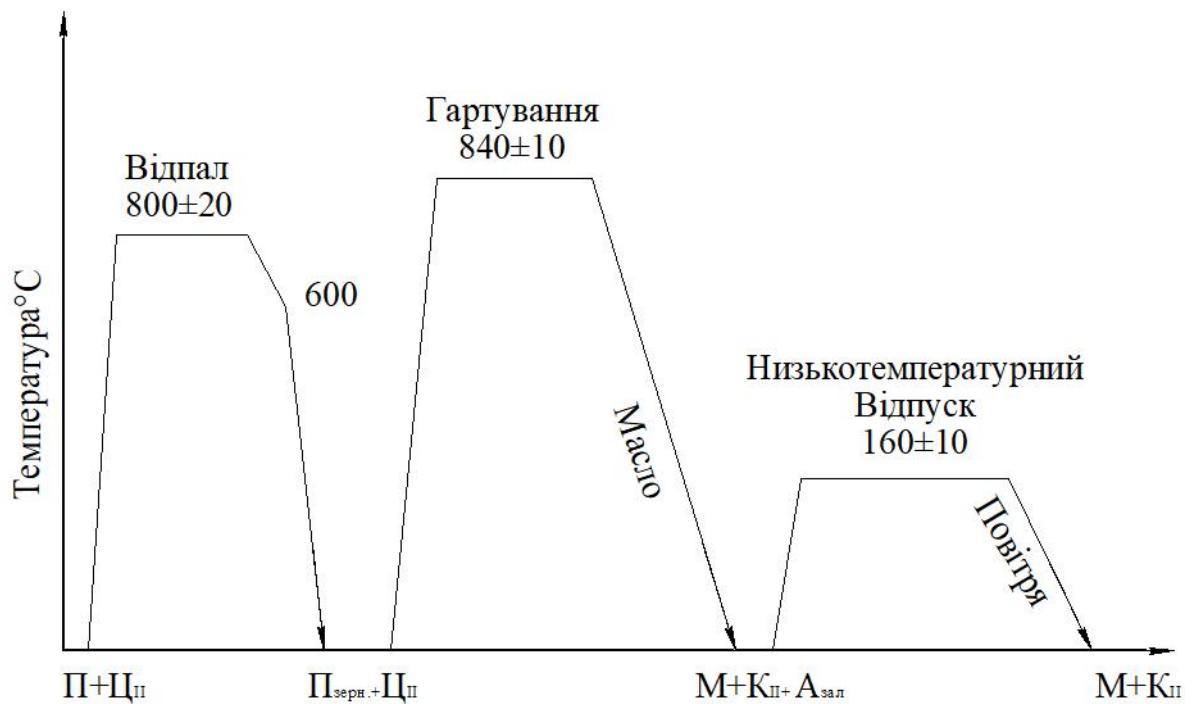


Рисунок 4.1 – Графік режиму термічної обробки вальниці кочення сталі ШХ15

Сфероїдизаційний відпал проводять з нагріванням вище A_{C1} , але нижче A_{Cm} та наступним повільним охолодженням. Для сталі ШХ15 температура аустенітизації 780...820°C. Мікроструктура сталі у вихідному стані наведена на рисунку 4.2.

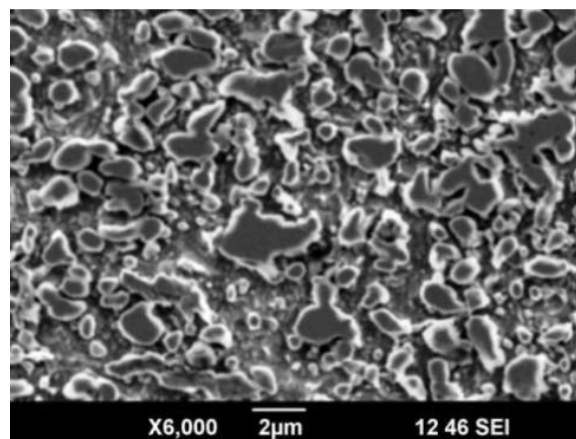


Рисунок 4.2 – Мікроструктура сталі ШХ15 після сфероїдизаційного відпалу [9]

Нижня границя встановлена на 15...20°C вище температури закінчення $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення, верхній – дещо нижче температури відносної гомогенізації аустеніту. Недостатнє нагрівання приводить до появи в мікроструктурі дрібних ділянок пластинчатого перліту, вкраплених в масу дрібнозернистого перліту. Твердість при цьому підвищена. Перегрівання приводить до утворення крупнопластинчатого перліту на фоні крупних глобул неоднорідного зернистого перліту, що не впливає на твердість сталі, і в цьому випадку твердість не може бути надійним показником якості відпалу.

При аустенітизації для завершення перетворення перліту в аустеніт достатньо витримки впродовж 45...60хв. Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб перетворення аустеніту в зернистий перліт закінчилась при температурі 600°C, подальший режим охолодження не суттєвий. Швидкість охолодження в інтервалі перлітного перетворення повинна бути 25...30°C для садок масою до 0,5т. Більш швидке охолодження приводить до отримання дисперсного перліту з підвищеною твердістю: занадто повільне охолодження – до отримання неоднорідного крупнозернистого перліту.

Гартування проводять при температурі 840 ± 10 °C для перевищення температури A_{c1} , яка становить 740°C, де відбувається фазова перекристалізація перліту в аустеніт та подрібнення зерна. Мікроструктура сталі після термічної обробки наведена на рисунку 4.3

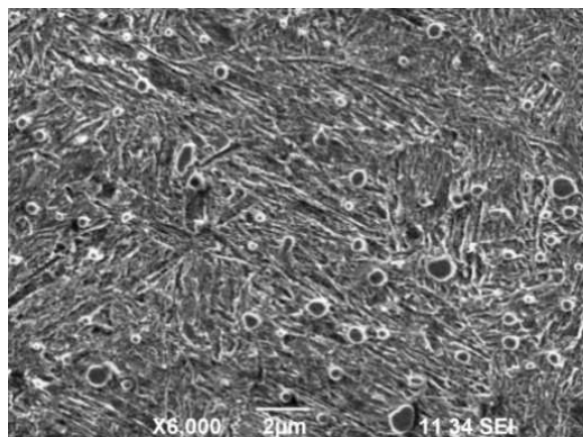


Рисунок 4.3 –Мікроструктура сталі ШХ15 після основної термічної обробки [9]

Така температура необхідна для розчинення карбідів хрому в аустеніті, а також недопущення надмірного росту зерна аустеніту. Крім того, підвищення температури гартування приводить до суттєвого зниження мартенситної точки $M_{\text{п}}$, і, як наслідок, до утворення залишкового аустеніту, що для вальницьових сталей небажане. Таким чином, обираючи температуру гартування сталі ШХ15 слід враховувати кількість залишкового аустеніту, оскільки при експлуатації він може перетворитися на мартенсит, що приведе до зміни об'єму.

Охолодження проводять у маслі, для того щоб швидкість охолодження перевищила критичну для отримання структури мартенситу. Після гартування проводять низькотемпературне відпускання при температурі $160 \pm 10^\circ\text{C}$, з витримкою при цій температурі протягом 2 год., метою якого є зменшення напружень в матеріалі, які утворилися після гартування. Така рекомендація температури відпуску пояснюється тим, що із більшою температурою істотно знижуються залишкові напруження, але водночас відбувається розпад мартенситу на ферито-карбідну суміш зі зміною форми та розмірів карбідів[12]

Для виконання подальших розрахунків розглянемо ескіз деталі кулькової вальниці на рис. 1.1. Згідно ескізу деталь має параметри: $D=35\text{мм}$, $d=12\text{мм}$, $B=14\text{мм}$.

Враховуючи невеликі розміри деталі та необхідність повної прогартуваності, для виконання операцій термічної обробки необхідно обирати електричну піч карусельного типу.

В даному випадку обробка виконується як дослідження, а не серійне виробництво, тому доцільним буде обрати піч СНЗ – 3.6.2/10: С-електрична, Н-камерна, 3-захисне середовище (контрольоване), з шириною 300мм, довжиною 600мм, висотою 200мм робочого простору з максимальною температурою нагріву до 1000°C . Робоче середовище ендогаз

(CO~19%, H₂~41%, решта N₂). Таку піч буде використано для всіх операцій термічної обробки: відпалу, гартування та низькотемпературного відпуску.

Оскільки вальниця складається із зовнішнього кільця діаметром 35мм товщиною 3мм, внутрішнього кільця діаметром 12мм, товщиною також 3мм та тіл кочення – кульок діаметром 7мм, термічну обробку слід проводити кожного елемента окремо, тому розрахуємо садку для кожного елемента виробу.

Для зовнішнього кільця діаметром 35мм деталі розташовують насипом в один шар (рисунок 4.2), оскільки вони мають невеликі розміри і товщину, а матеріал високу прогартованість[13].

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш}/d \quad (4.1)$$

де Ш- ширина робочого простору, 300мм;

d – діаметр заготовки, 35мм;

$$n_{\text{ш}} = 300/35 = 8 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів, що вміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = \text{Д}/d \quad (4.2)$$

де Д- довжина робочого простору, 600мм;

d – діаметр заготовки, 35мм;

$$n_{\text{д}} = 600/35 = 17 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 8 \cdot 17 = 136 \text{ шт.}$$

У робочому просторі печі по висоті розташовується лише один шар виробів для зменшення їх короблення. Тому, кількість виробів $N = n_{\text{яр.}} = 136$ шт.

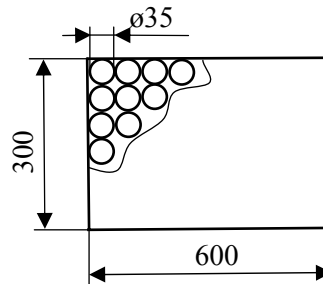


Рисунок 4.2 – Схема садки зовнішнього кільця вальниці зі сталі ШХ15 у печі
СНЗ – 3.6.2/10

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу кільця, яку поміщують у піч:

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi(d_3^2 - d_B^2)}{4} \cdot l \cdot \rho \quad (4.3)$$

де V – об'єм заготовки,

ρ – густина сталі з якої виготовляється заготовка (ШХ15), $\rho = 7812 \text{ кг/м}^3$

$$m = \frac{3,14(0,035^2 - 0,029^2)}{4} \cdot 0,014 \cdot 7812 = 0,033 \text{ кг} = 33 \text{ г}$$

Розрахуємо масу садки :

$$M_c = N \cdot m = 136 \cdot 0,033 = 4,488 \text{ кг}$$

Для внутрішнього кільця внутрішнім діаметром 12мм, товщиною 3мм деталі розташовують також насипом в один шар (рисунок 4.3),

$$n_{\text{ш}} = 300/18 = 16 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів, що вміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = 600/18 = 33 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 16 \cdot 33 = 528 \text{ шт}$$

У робочому просторі печі по висоті розташовується лише один шар виробів. Тому, кількість виробів $N = n_{\text{яр}} = 528 \text{ шт.}$

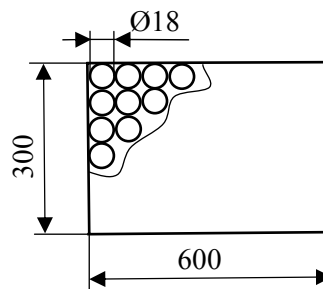


Рисунок 4.3 – Схема садки внутрішнього кільця вальниці зі сталі ШХ15 у печі СНЗ – 3.6.2/10

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу кільця, яку поміщують у піч формула 4.3:

$$m = \frac{3,14(0,018^2 - 0,012^2)}{4} \cdot 0,014 \cdot 7812 = 0,015 \text{ кг} = 15 \text{ г}$$

Розрахуємо масу садки:

$$M_c = N \cdot m = 528 \cdot 0,015 = 7,92 \text{ кг.}$$

Для кульок діаметром 7мм, деталі розташовують також насипом в один шар (рисунок 4.4):

$$n_{\text{ш}} = 300 / 7 = 42 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість виробів, що вміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = 600 / 7 = 85 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 42 \cdot 85 = 3570 \text{ шт}$$

У робочому просторі печі по висоті розташовується лише один шар виробів. Тому, кількість виробів $N = n_{\text{яр}} = 3570 \text{ шт.}$

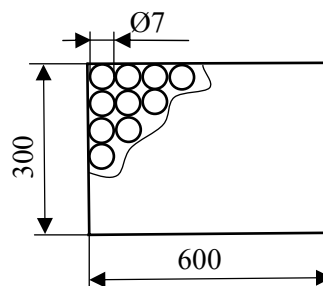


Рисунок 4.4 – Схема садки внутрішнього кільця вальниці зі сталі ШХ15 у печі СНЗ – 3.6.2/10

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу кільця, яку поміщують у піч формула 4.3:

$$m = \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot 0.007^3 \cdot 7812 = 0,011 \text{ кг} = 11 \text{ г}$$

Розрахуємо масу садки:

$$M_c = N \cdot m = 3570 \cdot 0,011 = 39,27 \text{ кг}$$

Щоб розрахувати час за який відбувається термічна обробка, скористаємось такими формулами. Загальна тривалість нагрівання $\tau_{\text{заг.}}$, хв., визначається за формулою[13]:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох}} \quad (4.4)$$

де, $\tau_{\text{н}}$ – час нагрівання до заданої температури, хв;

$\tau_{\text{в}}$ – час витримки при технологічній температурі, хв;

$\tau_{\text{ох}}$ – час охолодження при заданих параметрах, хв.

Для визначення часу нагрівання $\tau_{\text{н}}$ можна використовувати методику приблизного розрахунку. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма і тощо) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарків нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою[13]:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}} \quad (4.5)$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм;

k - коефіцієнт форми;

f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв;

$L_{\text{л}}$ - коефіцієнт легування сталі, хв/мм

Час витримки $\tau_{\text{в}}$, хв., при заданій температурі розраховується з таблиць. Зовнішнє та внутрішнє кільця вальниці.

Розрахунки тривалості нагрівання, витримки та охолодження однакові як для зовнішнього, так і для внутрішнього кілець, оскільки вони мають однакову товщину та схему розташування виробів.

Сфероїдизаційний відпал. Розрахуємо час нагріву до температури 800 ± 20 °C. $S=3$ мм (товщина), k - коефіцієнт форми ($k=2$); f - коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв., ($f=4$); $L_{\text{л}}$ - коефіцієнт легування сталі, хв/мм, $L_{\text{л}}=1,3$ [13].

$$\tau_{\text{н}} = 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 1,3 = 31,2 \text{ хв}$$

Час витримки при температурі 800 ± 20 °C за довідниковими даними становить $\tau_{\text{в}} = 45$ хв.

Час охолодження до температури завершення аустеніто-перлітного перетворення 600 °C [13]:

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}} \quad (4.6)$$

де $t_{\text{п}}$ – температура початку охолодження, °C. $t_{\text{п}} = 800$ °C,

$t_{\text{к}}$ – температура кінця охолодження, °C. $t_{\text{к}} = 600$ °C,

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження із піччю, °C/год. $V_{\text{ох}} = 25$ °C/год.

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / V_{\text{ох}} = (800 - 600) / 25 = 8 \text{ год}$$

Далі – охолодження на повітрі зі швидкістю 5 °C/с.

$$\tau_{ox2}=(t_{п}-t_{к})/V_{ox}=(600-20)/5=116 \text{ (с.)}=1,19(\text{хв.})=0,032\text{год}$$

Загальний час сфероїдизаційного відпалу становить:

$$\tau_{заг} = \tau_{н} + \tau_{в} + \tau_{ox1} + \tau_{ox2} = 31,2/60 + 45/60 + 8 + 0,032 = 8,422\text{год}$$

Гартування. Розрахуємо час нагріву до температури 840 ± 10 °С за формулою 4.5. $S=3\text{мм}$ (товщина), $k=2$, $f=4$, $L_{л}=1,3$ [13].

$$\tau_{н} = 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 1,3 = 31,2 \text{ хв}$$

Час витримки при температурі 840 ± 10 °С визначається із розрахунку 1хв. на 1мм товщини виробу, тому $\tau_{в} = 3\text{хв.}$

Час охолодження від температури витримки до кімнатної температури, за формулою 4.6, $t_{п}=840$ °С, $t_{к}=20$ °С, $V_{ox} = 50$ °С/с.

$$\tau_{ox}=(t_{п}-t_{к})/V_{ox}=(840-20)/50 = 16,4 \text{ (с)} = 0,005 \text{ год}$$

Загальний час гартування становить:

$$\tau_{заг} = \tau_{н} + \tau_{в} + \tau_{ox} = 31,2/60 + 3/60 + 0,005 = 0,575\text{год}$$

Низькотемпературне відпускання: $\tau_{н} = 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2,35 = 56,4$ (хв), $\tau_{в} = 2$ (год) взято з довідникових даних.

Температура охолодження розраховується за формулою 4.6, при цьому враховуємо $t_{п}=160$ °С, $t_{к}= 20$ °С, $V_{ox}= 5$ °С/с.

$$\tau_{ox.} = (160-20)/5 = 28 \text{ (с)} = 0,47\text{хв}$$

Загальний час відпуску становить:

$$\tau_{\text{заг.}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох}} = 56,4 + 120 + 0,47 = 176,87 (\text{хв}) = 3 (\text{год})$$

Кульки вальниці. Сфероїдизаційний відпал.

Розрахуємо час нагріву до температури 800 ± 20 °C за формулою 4.5, $S = 3,5$ мм (радіус кулі), $k = 0,75$, $f = 2$, $L_{\text{л}} = 1,3$ [13].

$$\tau_{\text{н}} = 3,5 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 1,3 = 6,825 \text{ хв}$$

Час витримки при температурі 800 ± 20 °C за довідниковими даними становить $\tau_{\text{в}} = 45$ хв.

Час охолодження до температури завершення аустеніто-перлітного перетворення 600 °C за формулою 4.6, враховуємо $t_{\text{п}} = 800$ °C, $t_{\text{к}} = 600$ °C, $V_{\text{ох}} = 25$ °C/год.

$$\tau_{\text{ох1.}} = (t_{\text{п.}} - t_{\text{к.}}) / V_{\text{ох.}} = (800 - 600) / 25 = 8 \text{ год}$$

Далі – охолодження на повітрі зі швидкістю 5 °C/с.

$$\tau_{\text{ох2.}} = (t_{\text{п.}} - t_{\text{к.}}) / V_{\text{ох.}} = (600 - 20) / 5 = 116 \text{ с} = 1,19 \text{ хв} = 0,032 \text{ год}$$

Загальний час сфероїдизаційного відпалу становить:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох1}} + \tau_{\text{ох2}} = 6,825 / 60 + 45 / 60 + 8 + 0,032 = 8,9 \text{ год}$$

Гартування. Розрахуємо час нагрівання до температури 840 ± 10 °C за формулою 4.5 при цьому враховуємо, що характеристичний розмір виробу $S = 3,5$ мм (радіус кулі), коефіцієнт форми ($k = 0,75$), коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання $f = 2$, коефіцієнт легування сталі $L_{\text{л}} = 1,3$ [13].

$$\tau_n = 3,5 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 1,3 = 6,825 \text{ хв}$$

Час витримки при температурі $840 \pm 10^\circ\text{C}$ визначається із розрахунку 1хв. на 1мм товщини виробу, тому $\tau_b = 3,5 \text{ хв}$.

Час охолодження від температури витримки до кімнатної температури розраховуємо за формулою 4.6 та відмічаємо, що $t_n = 840^\circ\text{C}$, $t_k = 20^\circ\text{C}$, $V_{ox} = 50^\circ\text{C}/\text{с}$.

$$\tau_{ox} = (t_n - t_k) / V_{ox} = (840 - 20) / 50 = 16,4 \text{ с} = 0,005 \text{ год}$$

Загальний час гартування становить:

$$\tau_{заг} = \tau_n + \tau_b + \tau_{ox} = 6,825/60 + 3,5/60 + 0,005 = 0,18 \text{ год}$$

Низькотемпературне відпускання час нагрівання розраховуємо за формулою 4.5, та маємо:

$$\tau_n = 3,5 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 2,35 = 12,34 \text{ хв.}$$

Температуру витримки взято з довідникових даних $\tau_b = 2$ год взято з довідникових даних.

Температура охолодження розраховується за формулою 4.6, враховуючи $t_n = 160^\circ\text{C}$, $t_k = 20^\circ\text{C}$, $5^\circ\text{C}/\text{с}$.

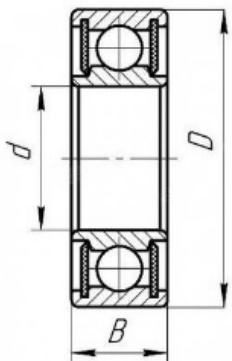
$$\tau_{ox} = (160 - 20) / 5 = 28 \text{ с} = 0,47 \text{ хв}$$

Загальний час відпуску становить:

$$\tau_{заг.} = \tau_n + \tau_b + \tau_{ox} = 12,34 + 120 + 0,47 = 132,81 \text{ хв} = 2,21 \text{ год}$$

Як допоміжне обладнання використовуються гартівні баки, мийні машини. Наведемо карту технологічного процесу термічної обробки вальниць кочення (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Карта технологічного процесу термічної обробки вальниць кочення

Ескіз виробу			Технічні вимоги до матеріалу			
			Марка сталі			Твердість HRC
			Сталь ШХ15	$\sigma_b = 2550\text{МПа}$ $\sigma_{-1}\geq 800\text{ МПа}$		62 ...65
N п/п	Операція	Обладнання (прилади)	Умови нагрівання	Умови охолодження	Назва пристосування, кількість виробів	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6	7
	Для кілець вальниці					
1.	Контроль вхідний	Стилоскоп, вимірювальні інструменти	—	—	—	Хімічний склад, 3% від партії. 100% - стан поверхні та розмірів
2.	Сфероїдизаційний відпал	СНЗ 3.6.2/10	$t_n=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=800\pm 20^{\circ}\text{C}$ $\tau_n=31,2\text{ хв.}$ ендогаз		Піддон, 136шт зовн.; 528шт. внутр.	Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка, захисне середовище.
2.1	Нагрівання					
2.2	Витримка	СНЗ-3.6.2/10	$t_b=800\pm 20^{\circ}$ $\tau_b=45\text{ хв.}$ ендогаз			Контролюється температура та тривалість витримки, садка, захисне середовище.

2.3	Охолодження до закінчення А→П перетворення	СНЗ 3.6.2/10 -		$t_n=800^{\circ}\text{C}$ $t_k=600^{\circ}\text{C}$, $\tau_{ox}=8\text{ год.}$		Контролюється садка, захисне середовище, час та тривалість охолодження.
-----	--	----------------	--	---	--	---

Продовження таблиці 4.1

	2	3	4	5		7
2.4	Охолодження	Стіл		$t_n=600^{\circ}\text{C}$ $t_k=20^{\circ}\text{C}$, повітря $\tau_{ox}=1,19\text{ хв.}$		Контролюється температура та тривалість охолодження.
3	Контроль	Твердомір типу ТШ, мікроскоп.	—	—	—	Контролюється структура та твердість виробу.
4.1	Гартування Нагрівання	СНЗ 3.6.2/10 -	$t_n=20^{\circ}\text{C}$ $t_k=840\pm 10^{\circ}\text{C}$. $\tau_n=31,2\text{ хв.}$ ендогаз		Піддон, 136шт зовн.; 528шт. внутр.	Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка, захисне середовище.
4.2	Витримка	СНЗ 3.6.2/10 -	$t=840\pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau_b=0,05\text{ год.}$ ендогаз		Піддон, 136шт зовн.; 528шт. внутр.	Контролюється температуратривалість витримки, садка.
4.3	Охолодження	Гартівний бак ЗБК-400		Масло, $t_n=840\pm 10^{\circ}\text{C}$ $t_k=20^{\circ}\text{C}$ $\tau_{ox}=16,4\text{ с.}$	Піддон, 136шт зовн.; 528шт. внутр.	Контролюється температуратривалість охолодження, садка та середовище.
5.	Промивання	Мийна машина	$t=70-90^{\circ}\text{C}$		Корзинка	10% содовий розчин
6	Контроль поточний	ТК-2, металографічний мікроскоп МІМ-7, рентгенівська установка.	—	—	Столик	2-3шт. від партії: $\text{HRC}\geq 61$ Контроль твердості та номера зерна
7.1	Низькотемпературний відпуск Нагрівання	СНЗ 3.6.2/10 -	$t_n=20^{\circ}\text{C}$ $t_k=160\pm 10^{\circ}\text{C}$. $\tau_n=56,4\text{ хв.}$		Піддон, 136шт зовн.; 528шт. внутр.	Контролюється температуратривалість нагрівання, садка.
7.2	Витримка	СНЗ 3.6.2/10 -	$t=160\pm 10^{\circ}\text{C}$. $\tau_b=2\text{ год.}$		Піддон, 136шт зовн.;	Контролюється температуратривалість витримки,

					528шт. внутр.	садка.
7.3	Охолодження	Стіл		Повітря $t_n=160\pm 10^\circ\text{C}$ $t_k=20$ $^\circ\text{C}\tau_{ox}=0,47$ хв	Піддон, 136шт зовн.; 528шт. внутр.	Контролюється температура та тривалість охолодження та середовище.

Продовження таблиці 4.1

Кульки вальниць						
1	2	3	4	5	6	7
8	Сфероїдизаційний відпал					Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка, захисне середовище.
8.1	Нагрівання	СНЗ 3.6.2/10 -	$t_n=20^\circ\text{C}$ $t_k=800\pm 20^\circ\text{C}$ $\tau_n=6,825$ хв. ендогаз		Піддон, 3570шт	
8.2	Витримка	СНЗ-3.6.2/10	$t_b=800\pm 20^\circ$ $\tau_b=45$ хв. ендогаз		Піддон, 3570шт	Контролюється температура та тривалість витримки, садка, захисне середовище.
8.3	Охолодження до закінчення А→П перетворення	СНЗ 3.6.2/10 -		$t_n=800^\circ\text{C}$ $t_k=600^\circ\text{C}$, $\tau_{ox}=8$ год.	Піддон, 3570шт	Контролюється садка, захисне середовище, час та тривалість охолодження.
8.4	Охолодження	Стіл		$t_n=600^\circ\text{C}$ $t_k=20^\circ\text{C}$, повітря $\tau_{ox}=1,19$ хв.	Піддон, 3570шт	Контролюється температура та тривалість охолодження.
9	Контроль	Твердомір типу ТШ, мікроскоп.	—	—	—	Контролюється структура та твердість виробу.
10	Гартування					
10.1	Нагрівання	СНЗ 3.6.2/10 -	$t_n=20^\circ\text{C}$ $t_k=840\pm 10^\circ\text{C}$. $\tau_n=31,2$ хв. ендогаз		Піддон, 3570шт	Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка, захисне середовище.
10.2	Витримка	СНЗ 3.6.2/10 -	$t=840\pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_b=0,05$ год. ендогаз		Піддон, 3570шт	Контролюється температура та тривалість витримки, садка.
10.3	Охолодження	Гартівний бак ЗБК-400		Масло, $t_n=840\pm 10^\circ\text{C}$ $t_k=20^\circ\text{C}$ $\tau_{ox}=16,4$ с.	Піддон, 3570шт	Контролюється температура та тривалість охолодження, садка та

						середовище.
11	Промивання	Мийна машина	$t=70-90\text{ }^{\circ}\text{C}$		Корзинка	10% содовий розчин
12	Контроль поточний	ТК-2, мікроскоп МІМ-7, рентгенівська установка.	—	—	Столик	2-3 шт. від партії: $\text{HRC} \geq 61$ Контроль твердості та номера зерна

Кінець таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
13	Низькотемпературний відпуск				Піддон, 3570 шт.	Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка.
13.1	Нагрівання	СНЗ 3.6.2/10 -	$t_n=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=160 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. $\tau_n=56,4\text{ хв}$.			
13.2	Витримка	СНЗ 3.6.2/10 -	$t=160 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. $\tau_b=2\text{ год}$.		Піддон, 3570 шт	Контролюється температура та тривалість витримки, садка.
13.3	Охолодження	Стіл		Повітря $t_n=160 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_{ox}=0,47\text{ хв}$	Піддон, 3570 шт	Контролюється температура та тривалість охолодження та середовище.
14.	Контроль	ТК-2, мікроскоп, індикатор	—	—	Столик	Контролюється 100% геометрії виробу: твердість, мікроструктура.

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

Висока якість продукції забезпечується вірно проведеним вхідним, поопераційним та завершальним контролем.

Вхідний контроль охоплює перевірку матеріалів, що використовуються для виготовлення інструмента, та хімікатів, що призначені для їх термічної обробки. Ретельне виконання вхідного контролю робить неможливим появу неякісної продукції на виробництві; вхідним контролем визначається хімічний склад матеріалу виробів і його відповідність робочому кресленню, а також відсутність внутрішніх та зовнішніх дефектів форми та розмірів.

Поопераційний контроль технологічних процесів термічної обробки полягає в: перевірці готовності термічного обладнання і оснащення до виконання технології термічної обробки; вимірювання, регулювання і запис робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах з заданою точністю; точне виконання витримок при нагріванні деталі; періодичне контролювання хімічного складу контрольованих атмосфер.

Поточний: контролюються усі параметри операцій: температура, час, схема садки та витрати, тиск, середовище при охолодженні його температура, структура та властивості виробів після виконання операцій.

Вихідний: є обов'язковою операцією, тому що після термічної обробки здійснюється механічне оброблення, складальна операція, це означає, що вироби повинні передаватись із необхідними структурами та властивостями.

Основними видами контролю якості деталей вальниці після термічної обробки є: візуальний контроль для виявлення тріщин, необхідний високий рівень шорсткості та інших поверхневих дефектів(100%); визначення твердості деталей; контроль мікроструктури;

В таблиці 5.1 представлені основні види дефектів деталей вальниці, що можуть виникнути в результаті термічної обробки.

Таблиця 5.1 – Дефекти, їх види, причини появи, заходи по запобіганню та усуненню

№	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Відпал сфероїдизаційний				
1	Крупнозернистість (перегрів)	- нагрівання до температур вище оптимальних; - тривала витримка	дотримання температури та часу обробки	повторний відпал;
2	Завищена твердість	- завищена швидкість охолодження при сфероїдизаційному відпалі; - занижена температура витримки при сфероїдизаційному відпалі; - занижений час при сфероїдизаційному відпалі	-дотримання оптимальних швидкостей охолодження; -дотримання оптимальної температури; -дотримання оптимального часу	Повторний відпал за оптимальним режимом;
3	Занижена твердість	-зневуглецювання; - завищена температура витримки при перетворенні аустеніту на перліт.	- нагрів в захисній атмосфері; - заниження температури ізотермічного перетворення;	- дефект невиправний; - проведення відпалу за раціональним режимом

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
Гартування				
	Тріщина	- неметалеві включення та інші концентратори напружень; - завищена швидкість охолодження при гартуванні; - завищена температура гартування;	- проведення термічної обробки матеріалів виробів із грубими неметалевими включеннями; - використання оптимального гартівного середовища; - дотримання оптимальної температури гарту, сходинкове охолодження	Дефект невивправний;
2.	Понижена твердість	- занижена температура гарту; - занижений час витримки при раціональних температурах; - знеуглецювання; - охолодження зі швидкістю менше	- термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу; - використання захисного середовища, охолодження зі	- нормалізація та відпал за раціональним режимом; відпал ,та повторне гартування в раціональному середовищі, гарт.

		критичної;	швидкістю менше критичної	
--	--	------------	---------------------------	--

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5
3.	Крупне зерно	- перегрів(завищена температура гарту та час гарту);	- дотримання заданих температур і часу;	- відпал або високотемпературний відпуск і повторний гарт;
4.	Короблення	- підвищена температура гартування; - нераціональне розташування виробів в садці; - використання невідповідного гартівного середовища.	- дотримання оптимальної температури гарту; - дотримання схеми садки при її формуванні - гарт у відповідному середовищі.	- нормалізація та повторне гартування - необхідно використовувати гарт в заневоленому стані;
Відпуск				
1.	Понижена твердість	завищені температури та тривалість відпуску.	дотримання технології.	повторне ТО

Контроль якості проходять усі комплектуючі деталі вальниці (100% контроль). Його можна класифікувати так:

Дефектоскопія – застосовується для виявлення тріщин, раковин, волосовин та інших дефектів металу із застосуванням дефектоскопа із використанням магнітного порошку чи пасти. Так виявляється як сам дефект, такі його розмір, а також орієнтацію.

Вихрострумовий, електромагнітний методи. За допомогою ультразвуку, що проникає всередину металу, можна виявити навіть прихований внутрішній дефект. Цим методом можна визначити також товщину деталі, її намагніченість, структуру, хімічний склад та деякі інші параметри.

Оптичний. Застосовується виявлення поверхневих дефектів і визначення геометричних параметрів.

При експлуатації вальниці зазнають циклічних навантажень. Тому необхідно контролюватиме тільки точність розмірів, твердість та якість поверхні вальниці, але і його міцність. До зниження міцності приводять такі дефекти: несучільності і неоднорідності матеріалу, що погіршують стійкість до втомного руйнування вальниці. Тому пильна увага приділяється робочим поверхням деталей вальниці- вони впливають на ефективність та надійність всього вузла.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Основні заходи з охорони праці під час розроблення технології термічної обробки та дослідження вальницьових сталей включають аналіз потенційних небезпек та дотримання правил безпеки. Для забезпечення безпечних умов праці з вальницьовими сталями необхідно виконувати такі правила безпеки:

- дотримання правил електробезпеки, включаючи навчання та перевірку знань з електробезпеки для всіх працівників. Виявлення та усунення несправностей в енергоспоживаючому обладнанні для запобігання електричним травмам;

- забезпечення виконання вимог ергономіки при організації робочих місць у дослідницьких лабораторіях. Забезпечення достатньої площі на одне робоче місце та раціонального розташування обладнання для запобігання травмам та поліпшення робочих умов;

- використання безпечних методів та процедур при підготовці дослідницьких зразків та матеріалу. Забезпечення безпечної роботи зі станком для обробки заготовок, правильне застосування шліфувально-полірувальних операцій та захист від хімічних речовин при визначенні хімічного складу вихідного матеріалу;

- дотримання правил безпеки під час визначення хімічного складу спектральним аналізом, включаючи використання захисних засобів для запобігання термічним опікам та ураженню інтенсивним світловим випромінюванням;

- забезпечення безпечних умов під час випробування механічних та експлуатаційних властивостей дослідницьких зразків, щоб уникнути механічних травм;

- використання безпечних методів при дослідженні мікроструктури на оптичному мікроскопі, включаючи обережне поводження з травильними розчинами та використання відповідних світлофільтрів для захисту від хімічних опіків та ушкоджень органів зору;

- забезпечення ергономічних умов під час роботи з комп'ютером, включаючи регулярні перерви, зміну пози та використання ергономічного обладнання для запобігання ушкодженням кістково-м'язового апарату;

- забезпечення задовільних метеорологічних параметрів повітряного середовища в дослідницьких лабораторіях шляхом ефективної роботи систем опалення та повітрообміну;

- забезпечення належного освітлення робочих місць у дослідницьких лабораторіях, регулярна перевірка та обслуговування джерел освітлення для запобігання зниженню працездатності та проблем із зором;

- дотримання правил пожежної безпеки, включаючи правильне зберігання легкозаймистих речовин та запобігання коротким замиканням, щоб уникнути загоряння та пожеж;

- планування та навчання працівників про правила поведінки та проведення аварійно-рятувальних та невідкладних робіт у надзвичайних ситуаціях;

Дотримання цих правил безпеки та виконання необхідних заходів допомагає забезпечити безпечні умови праці під час розроблення технології термічної обробки та дослідження вальницьових сталей.

7 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Основним методом підвищення твердості та міцності високовуглецевих сталей є гартування, що реалізує насамперед можливості твердорозчинного зміцнення. Однак формування пересиченого твердого розчину призводить до практично повної втрати пластичності, тому після загартування сталі завжди піддають відпуску. У процесі відпуску сталь переходить у більш стабільний стан за рахунок розпаду мартенситу. Ефект твердорозчинного зміцнення зменшується, зростає роль дисперсійного зміцнення.

При цьому твердість і міцність сталі знижуються, тоді як пластичність і в'язкість зростають у тій більшій мірі, що вища температура відпуску. Цепов'язано з тим, що дисперсність продуктів розпаду, зокрема розмірів частинок карбідної фази, знижується з підвищенням температури нагрівання. Отже, формування мікроструктури сталі з однорідним розташуванням більш високодисперсних карбідних частинок у феритній матриці, ніж під час відпуску, дасть змогу підвищити твердість завдяки дисперсійній складовій, а не твердорозчинній, що призведе до більш високих показників пластичності. Отже, розглянемо можливість використання інтенсивної пластичної деформації сталі ШХ15.

Інтенсивна пластична деформація формує в сталі складну структуру, яка характеризується субмікрокристалічним розміром зерна матриці та високодисперсними карбідними частинками.

Інтенсивну пластичну деформацію проводили методом всебічного кування за два повних цикли в ізотермічних умовах на універсальному динамометрі У10 за температур 500, 600 і 700 °С. Нагрівання зразків перед деформацією проводили протягом 15 хвилин.

Проведені дослідження показали, що це дає змогу активувати одночасно кілька механізмів зміцнення, таких як зернограничне, дислокаційне та дисперсійне.

Мікроструктура сталі ШХ15-ШД у вихідному стані являє собою зернистий перліт з об'ємною часткою карбідної фази 11, 1% (рисунок 7.1).

Середній розмір феритного зерна становив 11 ± 1 мкм, середній розмір карбідних частинок $1,3 \pm 0,1$ мкм. Карбіди розташовані як у тілі феритного зерна, такі по границях.

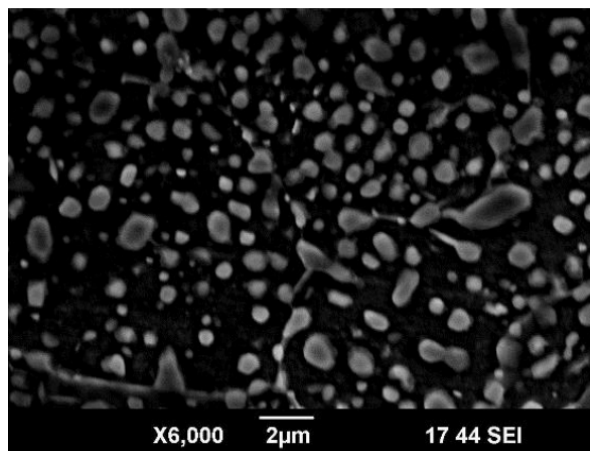


Рисунок 7.1 – Мікроструктура сталі ШХ15 у вихідному стані[14]

Таку мікроструктуру можна охарактеризувати як матричну: м'якаферитна матриця, в якій розташовані тверді карбідні частинки. Мікротвердість сталі у вихідному стані становила 2260 ± 130 МПа. Відомо, що структура зернистого перліту сприятлива для обробкитиском. Однак розміри сферичних карбідних частинок практично незмінюються в процесі деформації. Для формування структури з більш дрібними карбідами перед деформацією було проведено гартування з температури 910°C . Роботи, проведені на низько- і середньовуглецевих сталях, показали ефективність такої обробки для подрібнення структури [14, 15]. За інтенсивної пластичної деформації мартенситної мікроструктури, отриманої загартуванням, одночасно з подрібненням структури гартуванням, одночасно з подрібненням зерен матричної фази відбувається виділення

карбідів. Оскільки процес відбувається в динамічних умовах, карбіди, що виділяються, мають розміри порядку декількох десятків нанометрів.

За інтенсивної пластичної деформації мартенситної мікроструктури, отриманої гартуванням, одночасно з подрібненням зерен матричної фазигартуванням, одночасно з подрібненням зерен матричної фази відбувається виділення карбідів. Оскільки процес відбувається в динамічних умовах, карбіди, що виділяються, мають розміри порядку декількох десятків нанометрів. Після гартування мікроструктура являє собою мартенсит, як показано на рисунку 7.2. Мікротвердість після загартування становила 7990 ± 110 МПа.

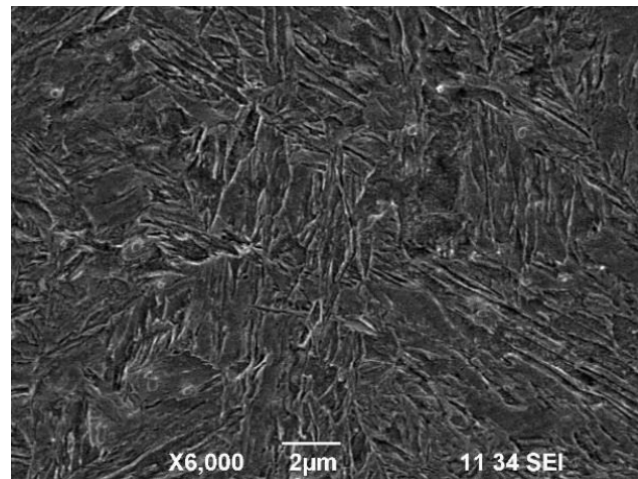
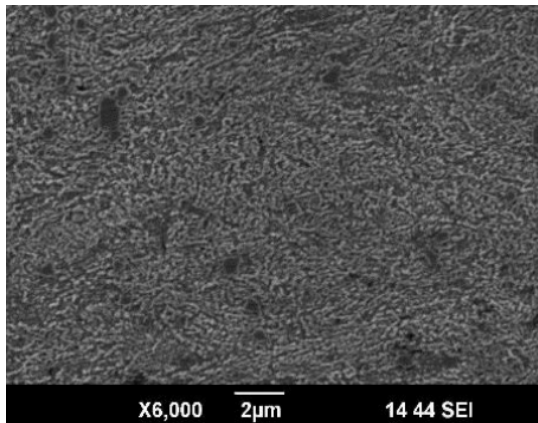


Рисунок 7.2 – Мікроструктура сталі ШХ15 після гартування [14]

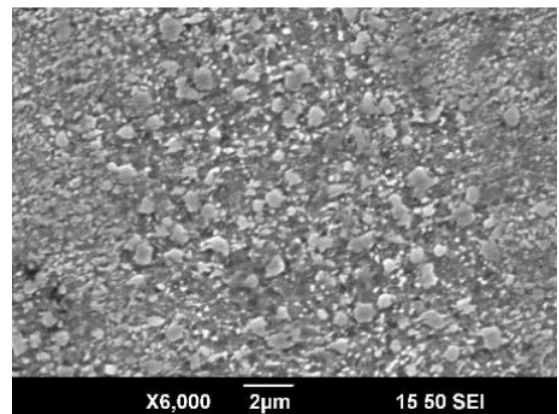
У результаті ПД мікроструктура мартенситу значно змінюється, як видно з рисунка 7.3. Незалежно від температури деформації спостерігається двіфракції карбідних частинок. Перша фракція представлена великими частинками, розмір яких залежить від температури деформації.

При збільшенні температури від 500°C до 700°C розміри карбідів збільшуються від $0,3 \pm 0,1$ мкм до $0,9 \pm 0,1$ мкм (рисунок 7.3а). При цьому змінюється й об'ємна частка таких великих карбідів від 4% після деформації при температурі 500°C до 10% після деформації при 700°C (рисунок 7.3 б).

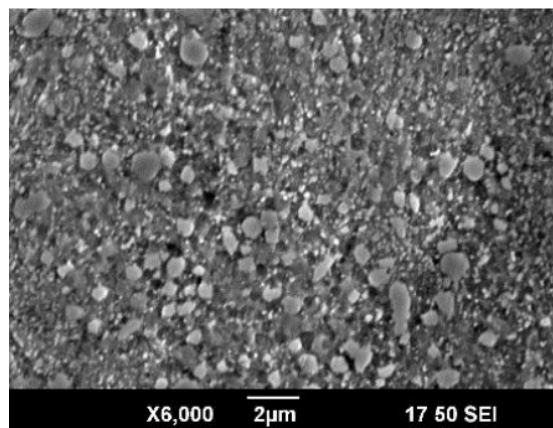
Друга фракція являє собою високодисперсні карбідні частинки, розмір яких практично не залежить від температури деформації і становить менше 0,1 мкм. Після деформації за температури 500°C дисперсні карбіди розташовуються у вигляді рядків (рисунк 7.3, а). Після деформації за більш високих температурах (рисунк 7.3 б, в) стрічковість у розташуванні карбідів зникає: частинки рівномірно розташовані в межах феритних зерен. Мікроструктура характеризується ультрадрібним зерном фериту, середній розмір якого незначно зростає при збільшенні температури деформації від 0,6 до 0,8 мкм.



а)



б)



в)

а – температура 500°C; б – температура 600°C;

в – температура 700°C

Рисунок 7.3 – Мікроструктура сталі ШХ15 після ІПД при різних температурах [14]

Таким чином у результаті пластичної деформації матричний тип мікроструктури змінюється на матрично-дуплексний, що складається з двох структурних складових: перша - ультрадрібні феритні зерна з розташованими в них високодисперсними карбідами, а друга - карбідні частинки, розміри яких можна порівняти із зернами фериту. Така структура є наслідком процесів, що протікають під час нагрівання сталі перед деформацією і під час деформації. Оскільки в роботі використовували загартування як попередню обробку перед деформацією, то вже під час нагрівання перед деформацією відбувається розпад мартенситу з виділенням карбідів. Мабуть, більша фракція карбідної фази утворилася саме в результаті статичної фази утворилася саме в результаті статичного відпуску. Під час деформації відбувається подрібнення феритних зерен і розчинення/виділення карбідних частинок. При цьому утворюються більш дисперсні карбіди в межах зерен фериту [15].

Еволюція мікроструктури призвела до зміни мікротвердості. Порівняно з вихідним станом сталі з матричною структурою зернистого перліту після ІПД спостерігається підвищення мікротвердості, значення якої визначається температурою деформації. Найбільш високі значення мікротвердості становили 5610 ± 80 МПа і характерні для зразків, продеформованих за мінімальної температури 500°C . Найменші значення мали зразки після деформації за температури 700°C - 3020 ± 40 МПа.

Підвищення твердості після пластичної деформації визначається двома факторами: подрібненням розміру феритного зерна і формуванням у межах зерен фериту високодисперсних карбідних частинок. Зі збільшенням температури деформації частина таких частинок у мікроструктурі зменшується, тому знижується твердість сталі. Частка великих карбідних частинок у мікроструктурі відносно невисока, тому, незважаючи на те, що

розміри цих карбідів можна порівняти з розмірами зерен фериту, самотійний внесок у зміцнення як високотвердафаза, вони практично не вносять[15].

ВИСНОВКИ

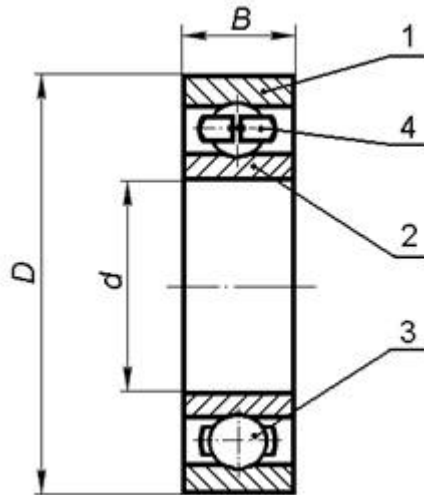
З метою відповідності жорстким вимогам щодо якості поверхні, твердості, границі міцності та витривалості деталей вальниць кочення, було обрано сталь ШХ15 з класу вальницьових сталей, оскільки вона найкраще відповідає поставленим вимогам: твердість у діапазоні 62...65 HRC, границя міцності $\sigma_B = 2550$ МПа, границя витривалості $\sigma_{-1} \geq 800$ МПа. Проведено аналіз впливу легувальних елементів (хрому, марганцю, кремнію) на структуру і властивості сталі. Зазначено шкідливий вплив неметалевих домішок та особливо водню та запропоновано для виготовлення сталі використовувати електрошлаковий переплав. Розроблено раціональний режим термічної обробки, який включає наступні етапи: сфероїдизаційний відпал при температурі $800 \pm 20^\circ\text{C}$ для отримання зернистого перліту, що сприяє поліпшенню подальшої механічної обробки заготовок та підготовці структури для наступної термічної обробки; гартування з нагріванням до температур $840 \pm 10^\circ\text{C}$ з подальшим охолодженням у маслі для отримання структури мартенситу дрібногочатого типу. Після цього проводиться низькотемпературне відпускання при $160 \pm 10^\circ\text{C}$ для зняття внутрішніх напружень у матеріалі виробів. Були розроблені карта маршрутно-технології та технологічна карта термічної обробки, в яких послідовно виконуються операції відпалу, гартування, промивання, відпуску та контролю. Крім того, передбачено використання поопераційного контролю властивостей і мікроструктури, а також аналіз можливих дефектів на кожному етапі термічної обробки. З метою покращення механічних властивостей та подрібнення зерна мартенситу запропоновано проведення інтенсивної пластичної деформації деталей після гартування. Це може бути досягнуто шляхом застосування таких операцій, як вальцювання, витягування або ковання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Clemons K. Effects of heat treatments on steels for bearing applications [Текст] / K. Clemons, C. Lorraine, G. Salgado, A. Taylor, J. Ogren, P. Umin // Journal of Materials Engineering and Performance—2007 - №16 – С. 592-596.
2. Harris T. A. Life ratings for ball and roller bearings [Текст] / T. A. Harris, R. M. Barnsby // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology— 2001 - №215— С. 577-595.
3. Zaretsky E. V. Rolling bearing steels – a technical and historical perspective [Текст] / E. V. Zaretsky // Materials Science and Technology – 2012 – P. 58–69.
4. Zaretsky E. V. Life Adjustment Factors for Ball and Roller Bearings [Текст] / E. V. Zaretsky, E. Bamberger, T. Harris, W. Kacmarsky, C. Moyer, R. Parker // ASME Engineering Design Guide (American Society of Mechanical Engineers, New York) – 1971 - №7 – P. 213 – 221.
5. Harris T. Rolling Bearing Analysis [Текст] / T. Harris // 3rd edition – 1991 – С. 149.
6. Sunnersjö C. S. Rolling bearing vibrations—the effects of geometrical imperfections and wear [Текст] / C. S. Sunnersjö // Journal of sound and vibration 98.4 – 1985 – С. 455-474.
7. Petersen D. Analysis of bearing stiffness variations, contact forces and vibrations in radially loaded double row rolling element bearings with raceway defects [Текст] / Dick Petersen // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2015 – №6 – С. 139-160.
8. Gupta P. K. Dynamics of rolling-element bearings – Part III [Текст] / P. K. Gupta. // Ball bearing analysis – 1979 - №8 – С. 312-318.
9. Ebert F.-J. Fundamentals of design and technology of rolling element bearings [Текст] / Ebert Franz-Josef // Chinese Journal of Aeronautics— 2010 – №23 – С. 123-136.

10. Davis J. R. ASM Speciality Handbook Stainless Steels (Asm Specialty Handbook) [Текст] /J. R. Davis // ASM International – 1995 – 600 p.
11. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник [Текст]/ Уклад. С.П. Гожій // Київ: КПІ ім. ІгоряСікорського, 2022. – 104 с
12. Czerwinski F. Heat treatment: Conventional and novel Applications[Текст]/ F Czerwinski // BoD–Books on Demand – 2012 – 46 p.
13. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство» усіх форм навчання [Текст] / Укл.: І.М. Лазечний, О.В. Климов, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка»– 2022 – 57 с.
14. Tsuji N. New routes for fabricating ultrafine grained microstructures in bulksteels without very high strains[Текст] /NTsuji //Advanced Eng. Mat – 2010. Vol. 12. №8 – P. 701–707.
15. Ueji R. Ultragrain refinement of plain low carbon steel by cold-rolling and annealing of martensite[Текст] /R Ueji // Acta Materialia – 2002 - №50– P. 4177–4189.

ДОДАТОК А

ЕСКІЗ ВАЛЬНИЦІ КОЧЕННЯ, ХІМІЧНИЙ СКЛАД СТАЛІ ШХ15,

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

Рисунок А.1 – Кулькова вальниця кочення

Таблиця А.1 – Хімічний склад сталі ШХ15 [ДСТУ 4738:007]

Сталь	Хімічний склад, %(мас.)							
	C	Si	Cu	Mn	Ni	P	Cr	S
ШХ15	0,95- 1,05	0,17- 0,37	≤0,25	0,20 - 0,40	≤0,30	≤0,027	1,30 - 1,65	≤0,020

ДОДАТОК Б

**МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РЕЖИМ ТЕРМІЧНОЇ
ОБРОБКИ ВАЛЬНИЦІ**

Таблиця Б.1– Механічні властивості та режим термічної обробки сталі ШХ15

Марка сталі	Режим ТО	Механічні властивості			
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	HRC	σ_{-1} , МПа при $n=10^7$
ШХ15	Гартування 830°С, відпуск 150°С, масло.	2300- 2450	1670- 1760	62-65	804

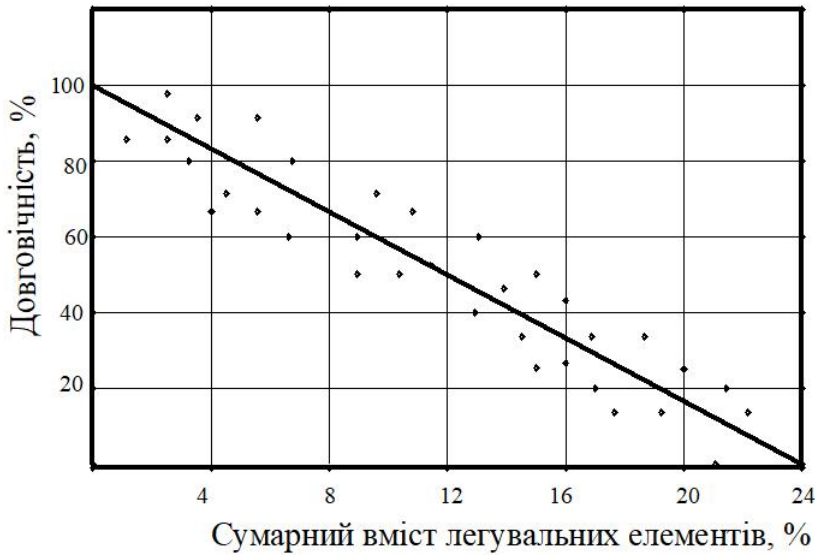


Рисунок А.1 – Вплив сумарного вмісту легувальних елементів на довговічність вальницевих сталей

ДОДАТОК В

ГРАФІК ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ СТАЛІ ШХ15

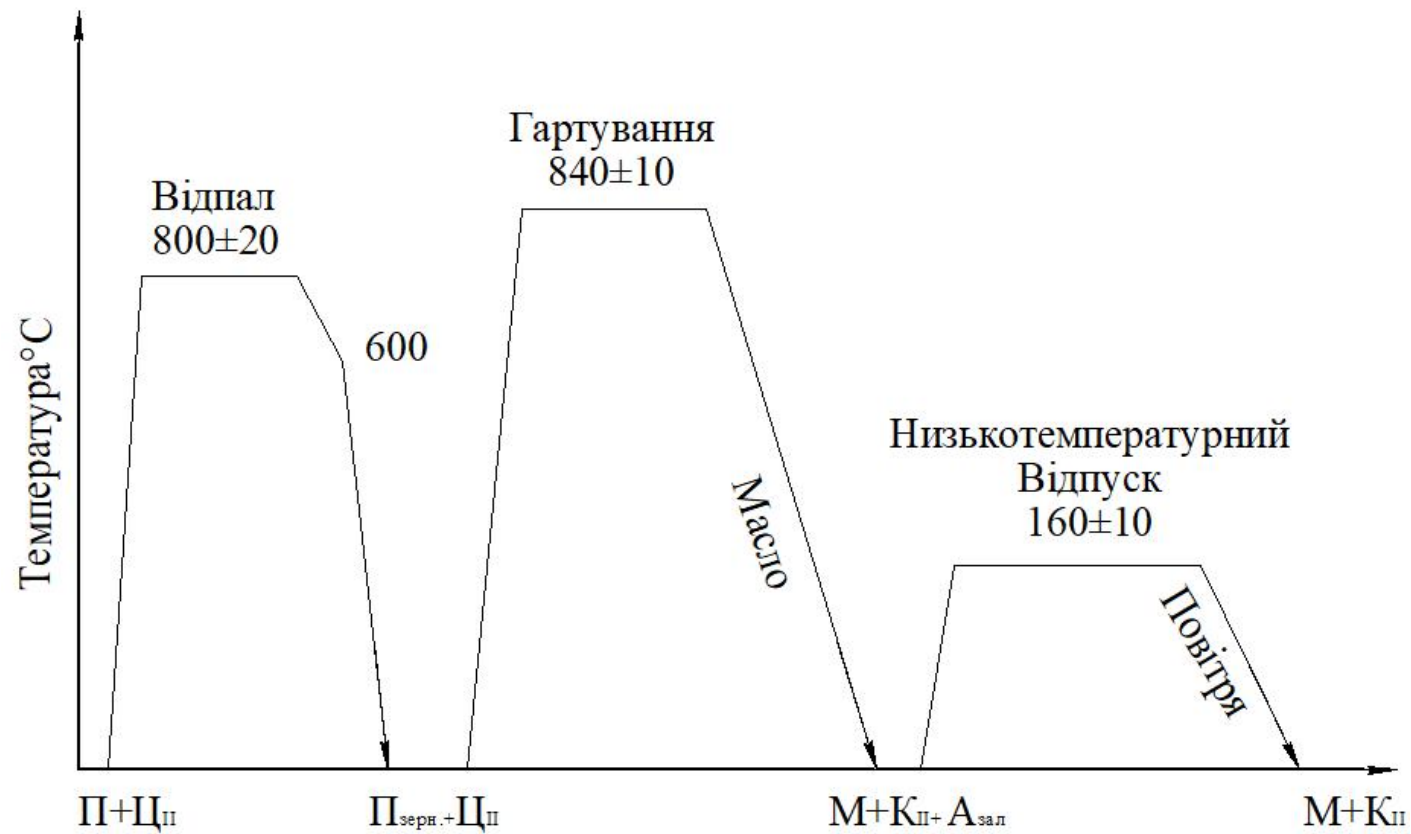


Рисунок Б.1 – Графік режиму термічної обробки вальниці кочення сталі ШХ15

ДОДАТОК Г

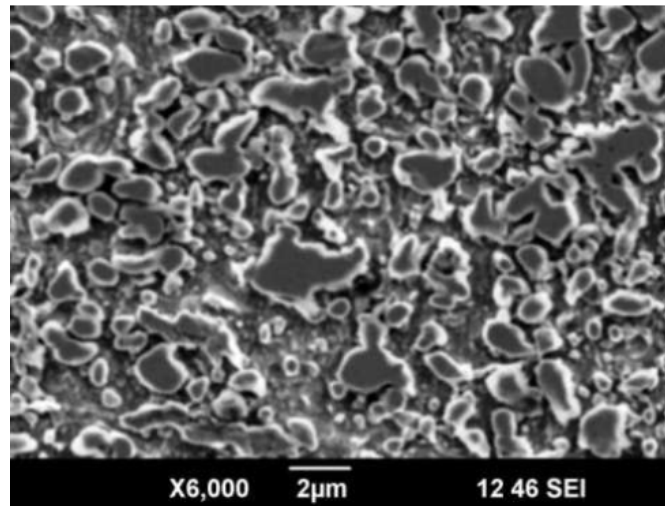
**МІКРОСТРУКТУРА ВАЛЬНИЦЕВОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ
ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Рисунок Г.1 – Мікроструктура сталі ШХ15 після сфероїдаційного відпалу

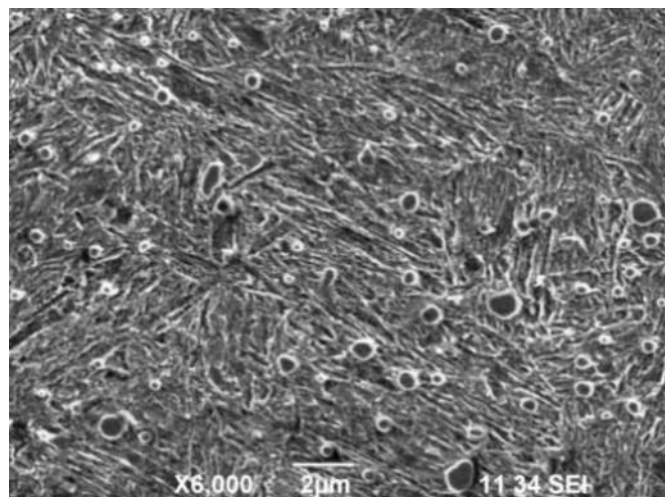


Рисунок Г.2 – Мікроструктура сталі ШХ15 після основної термічної обробки