

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: «Розробка технологій термічної обробки та неруйнівного контролю штампів
для холодного деформування із сталі X12M»
(назва теми)

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

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

СТЕПАНЕНКО Т.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ВІНІЧЕНКО В.С.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____
(ПРІЗВИЩЕ 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)
СТЕПАНЕНКО Тетяна Володимирівна
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка технологій термічної обробки та неруйнівного контролю штампів для холодного деформування із сталі X12M
 керівник проєкту (роботи) к.т.н, доцент ВІНІЧЕНКО Валерій Степанович

(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 ролика для накочування рифлень, марка сталі X12M

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 ролика для накочування рифлень, хімічний склад сталі X12M, вплив температури гартування на механічні властивості, мікроструктура сталі після відпалу, гартування, графік термічного оброблення сталі X12M

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

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	28.04.2023	
3	Характеристика матеріалів виробів	10.05.2023	
4	Розробка режимів та технології термічної обробки	25.05.2023	
5	Технічний контроль попередження та виявлення дефектів	31.05.2023	
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: 63 с., 9 табл., 9 рис., 4дод., 14 джерел.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, СТАЛЬ, ГАРТУВАННЯ, ІЗОТЕРМІЧНИЙ ВІДПАЛ, МАСЛО, КРИТИЧНА ШВИДКІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ, МАРТЕНСИТ, ПЕРЛИТ ЗЕРНИСТИЙ, АУСТЕНИТ, КАРБИДИ, ПІЧ, САДКА, ДЕФЕКТИ, КООРЦЕТИВНА СИЛА

Об'єкт розробки – деталі зі сталі для штамів холодного деформування X12M

Метою даного дипломного проекту є надання майбутнім фахівцям навичок щодо розробки оптимального режиму термічного оброблення для деталей зі сталі X12M, спираючись на їх умови експлуатації.

У процесі виконання роботи розглядалась низка задач:

- із використанням знань про технологічні можливості сучасного виробництва, розроблено схему маршрутної технології виготовлення виробу, враховуючи при цьому її вплив на властивості виробу та роль термічної обробки;
- детально і всебічно проаналізовано обраний матеріал, його технологічні, механічні, експлуатаційні властивості, роль усіх компонентів, що входять до його хімічного складу;
- на основі вивчення довідникової, науково-технічної навчальної літератури обґрунтовано обрано технологію термічної обробки (попередньої, основної, додаткової);
- розроблено технологічну карту термічної обробки і обрано необхідні параметри процесу (операцій) та засоби контролю якості виробів при термічній обробці (інструменти, пристосування, прилади, обладнання).

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	6
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	7
2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія	11
3 Характеристика обраного матеріалу	14
4 Розробка режимів та технологій термічної обробки	24
4.1 Характеристика основних та допоміжних операцій.....	25
4.2 Розрахунок кількості виробів в робочому просторі печі	27
4.3 Розробка режимів основних та допоміжних операцій ТО	29
4.4 Розробка контрольних операцій	33
5 Технічний контроль попередження та виправлення дефектів	40
6 Охорона праці	46
7 Спеціальна частина	49
Висновки	57
Перелік посилань.....	58
Додаток А Характеристика матеріалу ролика для накочування рифлень.....	59
Додаток Б Мікроструктура сталі після відпалу, гартування.....	60
Додаток В Залежність механічних властивостей від відпускання.....	61
Додаток Г Графік термічної обробки сталі Х12М.....	62

ВСТУП

Термічна обробка є невід'ємною складовою сучасної технології переробки металів і сплавів. Цей процес використовується з метою зміни структури та властивостей матеріалів в заданому напрямку шляхом температурного впливу. Термічна обробка може включати не лише теплову, але й хімічну, деформаційну, магнітну та інші взаємодії, в залежності від конкретних вимог і потреб виробництва.

У сучасному світі термічна обробка є найпоширенішим методом зміни властивостей металів та сплавів. Вона відіграє важливу роль на металургійних та машинобудівних заводах під час виготовлення напівфабрикатів та деталей машин. Термообробка використовується як проміжна операція для поліпшення технологічних властивостей матеріалу та як завершальна операція для надання йому комплексу механічних, фізичних і хімічних характеристик, необхідних для виробництва високоякісних виробів.

У даній роботі розглядається процес термічної обробки сталі X12M для виготовлення роликів для накочування рифлень. Вибір відповідної термічної обробки і параметрів її проведення є ключовим для отримання необхідних механічних та фізичних властивостей матеріалу, які забезпечують ефективну роботу інструменту та їх тривалу експлуатацію.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

Штампи холодного деформування працюють в умовах високих знакозмінних динамічних навантажень, які супроводжуються зношуванням і нагріванням робочих частин[1].

Накочування рифлень проводять циліндричними роликами, які вільно встановленні на осях в спеціальних тримачах. Обробку виконують на токарних, револьверних станках і автоматах як один із переходів обробки або як самостійну операцію на спеціальних станках. Рифлення на плоских поверхнях накочують на стругальних, довбежних і фрезерних станках. Накочування можуть бути прямими і сітчастими [2].

Накочування рифлень висвітлює процес холодного пластичного деформування поверхневих шарів заготовки. При цьому метал, що деформується при великому тиску заповнює впадини між витками рифлення інструменту, і таким чином на заготовці отримується рифлення. Для виробництва роликів для накочування рифлень використовуються сталі для холодного штампування.

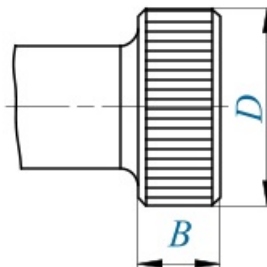


Рисунок 1.1 – Ескіз ролика для накочування рифлень

До виготовлення накочувального інструменту для холодного деформування висуваються такі основні вимоги:

- висока точність виготовлення деталей і зборки;
- висока якість обробки поверхонь, що сполучаються та формуючих поверхонь деталей.

Ці вимоги залежать одна від одної. Так, наприклад, висока якість обробки поверхонь ролика і матеріалу, що оброблюється забезпечує необхідну стійкість, а точне взаємне припасування ролика й матеріалу - одержання високоякісних деталей і високу стійкість його в роботі. Зневажання однієї з цих вимог може виявитись причиною низької якості виробу. Також низька твердість ролика внаслідок неправильного режиму термічної обробки зробить неможливим одержання високої точності обробки, тому що ролик буде мати низьку стійкість [2].

Від правильного вибору матеріалу для кожного виду деталей і відповідного режиму його термічної обробки залежить працездатність, міцність і збереження розмірів робочих частин штамів [3].

Вимоги, що висуваються до різних типів інструментальних сталей, можуть бути одними й тими самими, наприклад, твердість, в'язкість тощо, проте їхній експлуатаційний рівень неоднаковий. У багатьох випадках неможливо або ж дуже важко одночасно забезпечити максимум окремих основних властивостей; поліпшення тієї чи іншої властивості неминує призводити до погіршення інших [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Твердість є основною характеристикою інструментальних сталей, яка визначає їхню стійкість до деформацій і контактних напружень. Підвищення твердості призводить до збільшення міцності, межі витривалості та зносостійкості, а також зниження в'язкості. Крім того, збільшення твердості сприяє зниженню коефіцієнта тертя і налипанню матеріалу під час обробки.

Опір деформації визначає стійкість робочих поверхонь штамів проти зминання в умовах високого напруження поверхонь інструментів проти зминання в умовах високих напружень. Границя плинності при стисненні зростає пропорційно дозбільшенню твердості. Опір малим пластичним деформаціям характеризується границею пружності.

В'язкість є параметром, який вказує на стійкість матеріалу до утворення тріщин і руйнування під ударними навантаженнями. Ця властивість визначає, наскільки матеріал може витримати такі навантаження без пошкоджень. В'язкість також впливає на вибір оптимальної твердості інструменту для обробки матеріалу.

Міцність і в'язкість вважаються найважливішими характеристиками для вибору і порівняльної оцінки інструментальних сталей. Під час їх визначення використовується статичний або ударний згин. Проте неможливо отримати незалежні одна від одної характеристики міцності та пластичності. Окремо визначити міцність і пластичність можна у випробуваннях з одновісним навантаженням - розтягуванням або стисненням. Однак значущість характеристик міцності та пластичності, отриманих при одноразовому навантаженні, переоцінюється. Надзвичайно рідкісні й нетипові випадки руйнування інструментів результаті застосування одноразового навантаження. Високі контактні навантаження, переміщення металу заготовок поблизу поверхні інструменту спричиняє змінання і знос, у зв'язку з цим твердість пуансонів підвищується. Цим твердість штампів підвищують до HRC 59...63 [4].

Так, наприклад, для виготовлення роликів для накочування рифлення з листового матеріалу необхідно, щоб сталь, що йде на виготовлення, мала наступні основні властивості:

- була високоміцною, тому що в процесі експлуатації штамп зазнає високі зусилля й ударні навантаження;
- мала високу твердість, оскільки процес накочування можна здійснити лише за умови, якщо твердість матеріалу ролика буде значно більшою ніж твердість матеріалу, що штампується;
- була зносостійкою, оскільки довговічність роботи накочувального інструменту залежить від ступеня стирання його робочих рифлень;

- мала високу в'язкість, щоб внаслідок частих і сильних ударів ріжучі рифлення не викришувались;

- мала гарну прогартованість, яка забезпечує відсутність тріщин після гартування й достатню глибину загартованого шару, що дає можливість неодноразово заточувати ролик [4].

Таким чином до матеріалу для ролика для накочування рифлень висуваються наступні вимоги $\sigma_{\text{г}} \geq 2600$ МПа, HRC= 59...63, $KC \geq 40 \dots 50$ Дж/см²; інструмент експлуатується при температурі приблизно $t \leq 350^\circ\text{C}$.

Перерахованим вимогам відповідають лише певні марки інструментальних сталей. Найкращими для виготовлення пуансону є штампові сталі, які мають також особливі технологічні властивості. До цих властивостей відносяться:

- добра оброблюваність різанням і тиском (у холодному й гарячому стані);

- висока прогартованість, тобто можливість одержати високу твердість і рівномірну дрібнозернисту структуру;

- мала чутливість до перегрівання, тобто можливість здійснення гарту із нагріванням до високих температур;

- мала деформація деталей при термічній обробці.

Для виготовлення ролика застосовують штампові сталі для холодного деформування, до яких належать наступні сталі: X12Ф1, X12М, X12, X12МФ, X12Ф4М, X6Ф4М, X6ВФ, 8Х6МФТ. Ці всі сталі задовольняють критерію зносостійкості, бо вони належать до сталей з підвищеною або високою зносостійкістю.

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних, інструментальних, спеціальних заготівельних підприємствах являє собою логічну послідовність технологічних операцій. Номенклатура виробництва виробів

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	l	h	d	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Ролик для накочува ння рифлень	X12M	3,5	-	-		130	$\sigma_{3T} \geq 2600$ МПа, HRC=59... 63, $KC \geq 40 \dots 50$ Дж/см ²

Маршрутна технологія включає в себе не лише рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, але й визначення послідовності операцій, які виконуються під час виробництва. Ці операції можуть повторюватися на різних етапах виготовлення виробу, але мати різне призначення, режими та налаштування, що забезпечують зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей.

У розробці маршрутної технології беруть участь фахівці з різних цехів, які відповідають за обробку конкретного виробу на кожному етапі виробничого процесу.

Вона може включати десятки операцій. Схема маршрутної технології наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Схема маршрутної технології виготовлення ролика для накочування рифлення

№ п/п	Назва операції (комплексу операцій)	Цех (дільниця), де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів поковок
2	Попереднє механічне оброблення	Механічний цех	Надання деталі необхідних форми та розмірів
3	Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Ізотермічний відпал для отримання однорідної структури, перерозподілу легувальних елементів
4	Механічна обробка	Механічний цех	Обробка робочих частин ролика.
5	Термічна обробка	Термічний цех	Гартування та низький відпуск для отримання заданих робочим кресленням властивостей матеріалу, виконання вимог щодо геометрії заготовки.

Кінець таблиці 2.2

1	2	3	4
6	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Ручне шліфування і надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
7	Вихідний (завершальний) контроль	Механічний цех	Контроль відсутності дефектів на поверхні готового виробу; перевіряється мікроструктура та механічні властивості, щоб вони відповідали робочому кресленню

Операції 4, 6 виконуються слюсарями. Слюсарі беруть участь й у механічній обробці, виконуючи розмічальні й проміжні слюсарні роботи, а в деяких випадках - нескладні верстатні роботи.

Звичайний технологічний процес виготовлення роликів складається з наступних основних операцій: виготовлення заготівлі, попередньої механічної обробки, чорнового шліфування, гартування, відпуску, чистового шліфування профілю, доведення профілю, заточення.

Термічна обробка заготовок забезпечує кращу оброблюваність їх на наступних операціях, зменшує деформації при загартуванні й підвищує стійкість робочих частин.

Щоб усунути поверхневі напруження, що виникають у результаті грубої механічної обробки проводять попередню термічну обробку,

заготовки з легованих інструментальних сталей піддають ізотермічному відпалу.

Шліфуванням доводочними бормашинками можна доводити поверхню роликів безпосередньо на робочому місці слюсаря.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАНОГО МАТЕРІАЛУ

Сталь X12M, хімічний склад, якої наведений в таблиці 3.1, володіє дуже цінними для штамів холодного деформування властивостями.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі X12M, % (мас)**[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**

Матеріал	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
X12M	1,45- 1,65	0,15- 0,35	0,15- 0,4	11,0 - 12,5	0,4- 0,6	0,15- 0,3	≤0,03	≤0,03

Найважливішими позитивними властивостями стали X12M є велика твердість в загартованому стані, хороша прогартованість, невелике короблення і відсутність тріщин при гартуванні і, нарешті, порівняно низька вартість, зважаючи на простий склад, що не потребує присадок нікелю, вольфраму та маловуглецевого ферохрому. Розглянемо значення критичних точок – в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення критичних точок сталі X12M**[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**

Матеріал	Температура критичних точок, °C				
X12M	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	Mn
	830	855	-	750	230

Після досягнення потрібної температури, сталь X12M можна кувати, щоб змінити її мікроструктуру та отримати більш однорідну та зміцнену структуру. Після кування сталь X12M слід охолоджувати повільно, наприклад, у печі, щоб уникнути зайвих напружень та деформацій. Для того, щоб зменшити напруження для подальшого термічного оброблення після кування необхідно проводити відпал. Режими кування та відпалу для сталі X12M наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Режими кування та відпалу для сталі X12M

Сталь	Інтервал температур кування, °C	Режим відпалу	Твердість після відпалу HB, МПа не більш
X12M	1100 - 850°C, повільне охолодження	Нагрів на 830...850°C, охолодження зі швидкістю 40°C/год до 710°C, витримка 3...4 год, охолодження зі швидкістю 50°C/год до 550°C, далі на повітрі	2550

Основні властивості сталей, такі як міцність, в'язкість, зносостійкість, визначаються хімічним складом, водночас сталі легують кількома елементами, але без збільшення їхньої загальної концентрації або навіть за сумарного її зменшення.

Взаємозв'язок між властивостями обумовлений тим, що крім прямого впливу на ті чи інші характеристики, легування чинить і непрямий вплив. Так, наприклад, зменшення схильності до росту зерна під час нагрівання (чутливість до перегріву), що досягається за рахунок введення в сталь елементів, що утворюють важкорозчинні карбіди, позитивно позначається і на міцності.

Легування хромом необхідне для підвищення здатності сталі для прогартованості і зберігати високу твердість за підвищеного відпуску. Тому хром неминуче є основним легувальним карбідоутворювальним елементом у

штампових сталях. У присутності хрому збільшується також і прогартованість. Карбіди представлені переважно частинками $M_7C_3(Cr_7C_3)$ і невеликою кількістю $M_{23}C_6(Cr_{23}C_6)$.

Сталі з високим вмістом хрому відносяться до ледебуритного класу, тому прокачування зливків із цих сталей дуже важко. Також вони схильні до утворення шліфувальних тріщин, тому виготовленні із них вироби необхідно шліфувати м'яким камінням, знімаючи невелику кількість стружки за один раз.

Молібден знижує температури перетворень як під час первинної кристалізації, так і під час гартування та відпуску; температурний інтервал затвердіння сталі з молібденом вузьчий, ніж у вольфрамової сталі, тому евтектика литої молібденової сталі має більш тонку будову. Карбіди в такій евтектиці, а потім у деформованій сталі дрібніші, що покращує в'язкість сталі порівняно з тією, яку отримують у вольфрамових сталей. Крім того, молібден треба розглядати як горофільний елемент. Він ускладнює виділення карбідів по границях зерен під час дисперсійного твердіння. Таке покращення граничних шарів зерна дає змогу отримати більш високу в'язкість. Треба врахувати, що молібден посилює знеуглецювання при його вмісті понад 3%. У зв'язку з цим вміст молібдену приймається в цих сталях 2-3%.

Крім легувальних елементів у складі цієї сталі є домішки. Домішки – це хімічні елементи, які потрапляють до складу сталі під час її виготовлення, як технологічні добавки або як складові шихтових матеріалів.

Домішки в сталі підрозділяються на постійні (звичайні), випадкові й сховані (шкідливі).

Постійними домішками в сталі є марганець та кремній, які як домішки є практично у всіх промислових сталях. Вміст марганцю в інструментальних сталях його вміст трохи менше 0,15...0,40 %. Введення марганцю як технологічної домішки в таких кількостях необхідно для виведення сірки із сульфідів заліза в сульфід марганцю.

Випадковими домішками в сталі можуть бути практично будь-які елементи, що випадково потрапили в сталь зі скрапу, природно-легованої руди або розкислювача.

Прихованими домішками в сталі є сірка, фосфор, миш'як і гази (водень, азот, кисень). Однак останнім часом азот, сірку, фосфор іноді використовують як легувальні домішки для забезпечення ряду особливих властивостей в сталях.

Шкідливі домішки: сірка, фосфор і гази присутні практично у всіх сталях і залежно від типу сталі вони можуть впливати на властивості по-різному.

При кімнатній температурі розчинність сірки в залізі практично відсутня. Тому вся сірка в сталі зв'язана в сульфіди заліза й марганцю, частково в сульфіди легувальних елементів. Із підвищенням температури, сірка розчиняється в α - і γ -залізі, хоча й незначно, але до цілком певних концентрацій (0,02 % в α -залізі при 913°C і 0,05 % в γ -залізі при 1365°C). Тому включення сірки можуть видозмінюватися при термічній обробці сталі.

Збільшення вмісту сірки в сталях мало впливає на характеристики міцності, але істотно змінює в'язкість сталі та її анізотропію в напрямках поперек та уздовж прокатки.

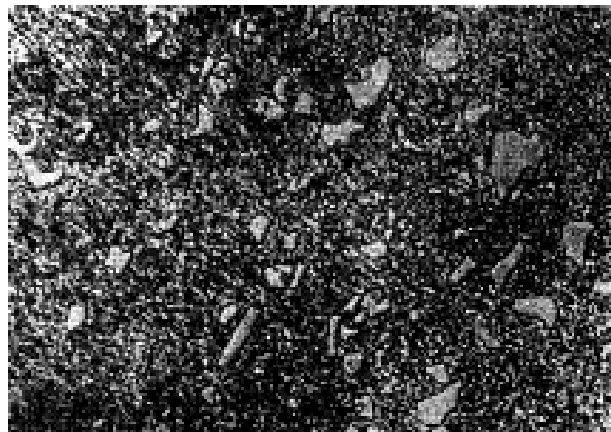
Розчинність фосфору в α - і γ -залізі значно вище, ніж вміст фосфору в сталі, як домішки. Тому фосфор у сталі цілком перебуває у твердому розчині.

Шкідливий вплив фосфору на властивості сталі може підсилюватися через його сильну схильність до ліквації. Фосфор зміцнює ферит і підсилює холодноламкість сталі, тобто збільшується температура переходу із в'язкого в крихкий стан. Фосфор відноситься до сильних зміцнювачів, при тому, що його вміст в сталі не перевищує 0,03–0,04%, він збільшує межу текучості фериту на 20–30 МПа. Збільшення вмісту фосфору в межах сотих часток відсотка може викликати підвищення порогу

холодноламкості на кілька десятків відсотків, 0,01 % фосфору збільшує поріг холодноламкості на 20– 25°C.

Із збільшенням вмісту фосфору в сталі знижується густина, ростуть електроопір і коерцитивна сила і знижуються теплопровідність, залишкова індукція і магнітна проникність.

Як хімічний склад так і термічна обробка впливають на властивості сталі. Сталь постачається у відпаленому стані, мікроструктура наведена на рисунку 3.1



× 400

Рисунок 3.1 – Мікроструктура сталі X12M після відпалу[6]

Як видно з рисунку в мікроструктурі сталі X12M добре видно хромо-залізні карбіди різної форми і величини, порівняно рівномірно розподілено в основному сорбітоподібному полі. Твердість сталі після відпалу була 217 за Брінелем.

Сталь X12M зазвичай гартують за температури приблизно 1000...1030°C. Перевищення цих температур призводить до інтенсивного росту зерна аустеніту, збільшенню кількості залишкового аустеніту та зниженню твердості. На рисунку 3.2 представлені залежність твердості та ударної в'язкості від температури гартування.

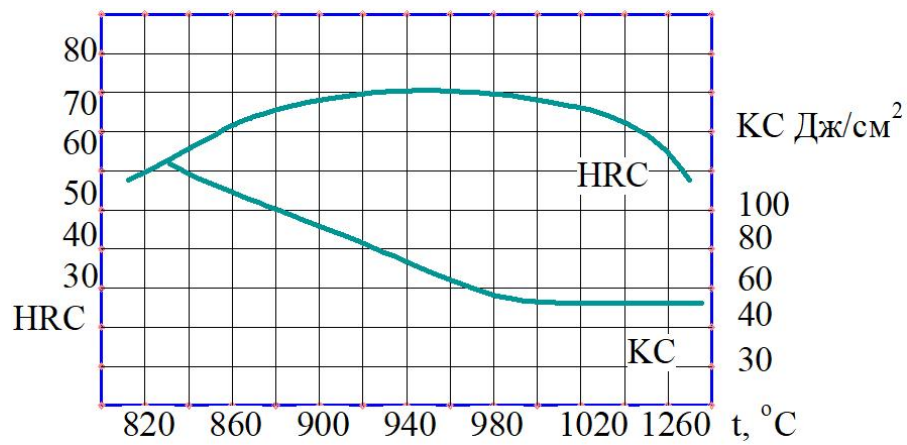
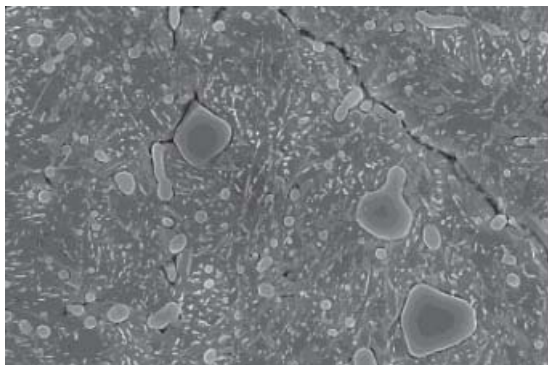
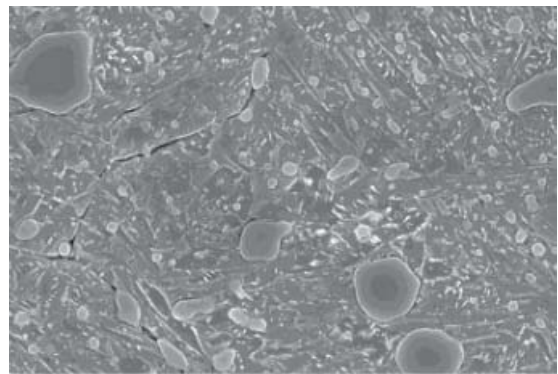


Рисунок 3.2 – Графік залежності твердості та ударної в'язкості від температури гартування [7]

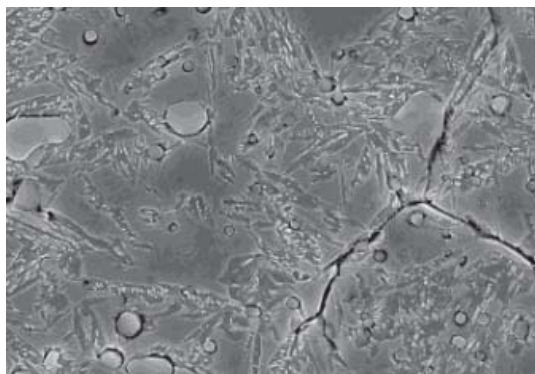
Як видно з результатів досліджень з підвищенням температури гартування твердість сталі спочатку зростає, досягає максимального значення 65 HRC при температурі 980°C, а з подальшим підвищенням температури гарту починає трохи зменшуватися. Ударна в'язкість навпаки із ростом температури поступово знижується. Пояснити такі зміни можна за допомогою дослідження мікроструктури (рисунок 3.3 (а, б, в.)) [6].



а)



б)



в)

а - 860°C; б - 980°C; в - 1040°C

Рисунок 3.3 – Мікроструктура сталі X12M в залежності від температури гартування ($\times 400$)[7]

На рисунку 3.3 а приведена мікроструктура зразка, загартованого від температури 860°C. Вона являє собою тростито-мартенситну основу, в якій розподілені хромо-залізні карбіди різної величини і форми, головним чином, великі карбіди, що мають у перерізі форму неправильних багатокутників. Порівнюючи рисунки 3.3 б та в видно що з підвищенням температури мікроструктура сталі змінюється наступним чином: в основному полі збільшується відносна кількість мартенситної складової, хромо-залізні карбіди стають більш дрібними і більш округлої форми, а їх розподіл більш рівномірним. При гартуванні від температури 1040°C в мікроструктурі стають помітними зерна аустеніту, що добре пояснює знижену твердість зразків, загартованих від цієї температури. Отже, найбільш доречною буде рекомендована температура гартування 1020°C. Така температура ще і тому, що твердість при невеликих відхиленнях від цієї температури, неминучих в промислових умовах, змінюється незначно[6].

Також на показники властивостей сталі впливають температура відпуску (табл. 3.5).

Таблиця 3.4 – Вплив температури відпуску після гартування від оптимальних температур на механічні властивості сталі X12M[7]

Сталь (рекомендована температура гартування)	Температура відпуску, °C	HRC	KCU, Дж/см ²
X12M (1020 °C;)	100	63	39
	200	63	40
	230	60	52

	290	58	86
	320	58	86
	350	58	86
	380	55	78
	410	56	45
	450	59	42
	500	53	49

Температуру відпуску обирають із умов отримання максимальної міцності і ударної в'язкості, і вона не повинна бути настільки високою, щоб призвести до розпаду залишкового аустеніту і коагуляції карбідів, що виділяються та сприяють зниженню ударної в'язкості. Графічну залежність твердості, ударної вязкості та границі міцності при згині від температури відпуску наведено на рисунку 3.4.

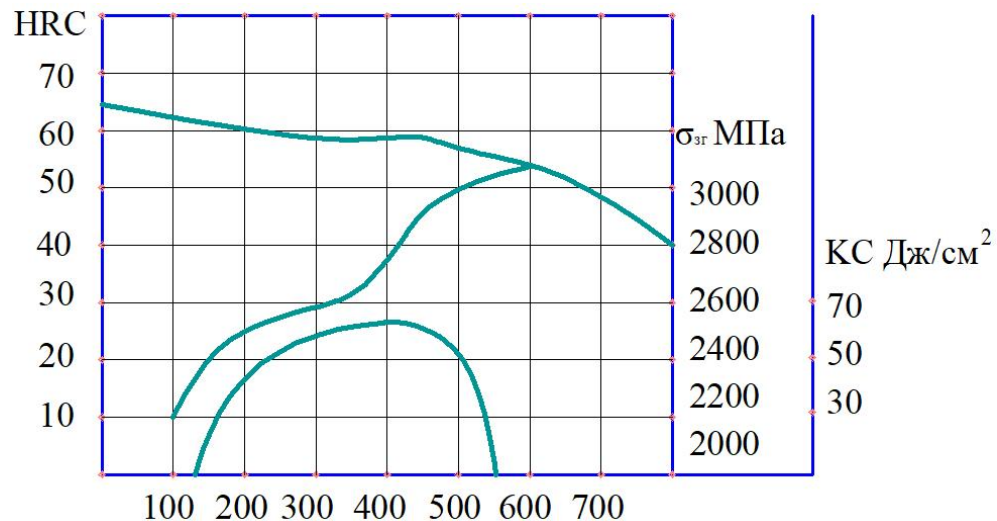


Рисунок 3.4 – Залежність твердості, ударної вязкості та границі міцності при згині від температури відпуску[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]

З наведених даних видно, що з підвищенням температури відпуску твердість сталі спочатку знижується до 55 одиниць при температурі 380⁰С. Потім підвищується в інтервалі температур 380-450⁰С, сягає 59 одиниць при

температурі 450°C , а з подальшим підвищенням температури відпуску сильно зменшується. Вторинна твердість, що спостерігається при відпуску сталі X12M в інтервалі температур $380-450^{\circ}\text{C}$ є наслідком того, що в цій сталі після гартування зберігається деяка кількість залишкового аустеніту, перетворення якого в мартенсит відбувається десь за температури 400°C . Однак рекомендувати цей температурний інтервал для відпуску сталі X12M не можна так як ударна в'язкість при цьому зменшується.

Ударна в'язкість с підвищенням температури відпускання зростає і за температур $290-350^{\circ}\text{C}$ сягає максимального значення -86KCU . Що ж стосується явища відпускнуї крихкості, спостерігає мого при температурах близьких до 400°C , то причиною є процес перетворення в мартенсит залишкового аустеніту.

Розглянемо ізотермічну діаграму перетворення аустеніту сталі X12M (рисунок 3.5).

З діаграми видно, що мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту складає при температурі 700°C , $\tau = 4\text{хв}$. А в бейнітній області при температурі 320°C , $\tau = 45\text{хв}$.

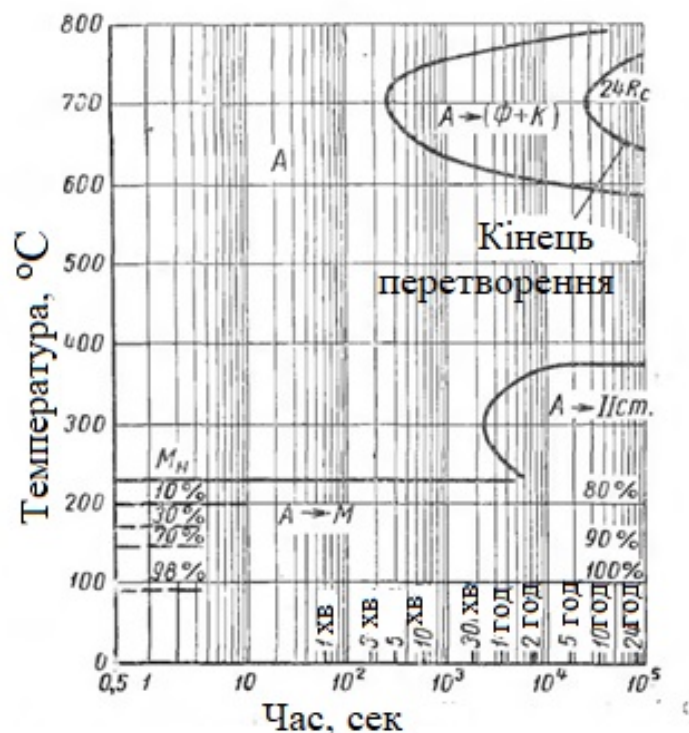


Рисунок 3.5 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту сталі X12M[8]

Із діаграми можна побачити, що проміжне перетворення в легованих сталях не йде до кінця. Частина аустеніту, збагаченого вуглецем, при ізотермічній витримці не розпадається і при подальшому зниженні температури може лише частково перетворитися на мартенсит.

Розрахуємо критичну швидкість охолодження:

(4.1)

Всі легувальні елементи збільшують стійкість переохолодженого аустеніту в області перлітного і бейнітного перетворень та зміщують криві початку і кінця розпаду вправо на діаграмі ізотермічного розпаду, що вказує на більший час витримки. Це пояснюється тим, що легувальні елементи сповільнюють $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення і сприяють формуванню спеціальних карбідів одразу при перетворенні. Для отримання такої структури необхідний дифузійний перерозподіл не лише вуглецю, але й легувальних елементів.

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

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

Термічна обробка, певний часовий цикл нагрівання й охолодження, якому піддають метали для зміни їхніх фізичних властивостей. Термообробка у звичайному розумінні цього терміна проводиться при температурах, що не досягають точки плавлення. Процеси плавлення, які спричиняють істотний вплив на властивості металу, у це поняття не включаються. Зміни фізичних властивостей, що викликані термічною обробкою, обумовлені змінами внутрішньої структури й хімічних співвідношень, що відбуваються у твердому матеріалі. Цикли термічної обробки уявляють собою різні комбінації нагрівання, витримки при певній температурі й швидкого або повільного охолодження, що відповідають тим структурним і хімічним змінам, які потрібно викликати.

4.1 Характеристика основних та допоміжних операцій

Термічна обробка може бути попередня й остаточна.

Попередню термообробку проводять безпосередньо після кування з метою зниження твердості для полегшення наступної механічної обробки, зменшення залишкових напружень і підготовку структури під остаточну термообробку.

Сталь X12M в стані постачання має структуру перліту з карбідами. Механічна обробка різанням сталі з такою структурою дуже ускладнена. З метою поліпшення обробки різанням й підготовки структури до остаточної термічної обробки сталь піддають попередній термічній обробці.

Для заготовки зі сталі X12M попередня термічна обробка являє собою ізотермічний відпал. Відпал складається із нагрівання до певної температури, витримки й повільного охолодження у печі для одержання рівноважної, менш твердої структури, вільної від залишкових напружень.

Переваги ізотермічного відпалу:

- скорочується тривалість процесу для легованих сталей, які при повному відпалі доводиться досить повільно охолоджувати із піччю;
- утворюється більш однорідна перлітна структура у всьому перетині виробу, внаслідок чого забезпечується отримання однорідних властивостей у всьому об'ємі виробу.

Відпал виконується в наступній послідовності: вихідна структура $P + K_I + K_{II}$; спочатку відбувається нагрівання вище A_1 , при цьому проходить перетворення перліту на аустеніт, при $860 \pm 10^\circ\text{C}$ відбувається гомогенізація аустеніту, потім охолодження із піччю до $710 \pm 10^\circ\text{C}$, витримка, далі знову охолодження із піччю до 550°C , після чого садка виноситься на повітря і там відбувається подальше охолодження, структура $P_{\text{зерн}} + K$

Остаточна термічна обробка полягає в підігріванні, наступному гартуванні і низькотемпературному відпуску.

Сталь X12M має малу теплопровідність і виріб великої маси для того щоб не утворилися тріщини через перепад температур спочатку підігрівають до $620 \pm 10^\circ\text{C}$. Після підігрівання роблять витримку для вирівнювання температур по всьому перерізу виробу.

Після прогрівання виробу садку нагрівають до більш високих температур, а саме $1020 \pm 10^\circ\text{C}$ і гартують. Після витримки вироби охолоджуються у маслі.

Температура для гартування обирається в залежності від властивостей які необхідно отримати. Для сталі X12M оптимальна температура для гартування становить $1020 \pm 10^\circ\text{C}$. При нагріванні до менш низьких температур не відбудеться повне розчинення карбідів і таким чином не відбудеться гомогенізація карбідної фази. Перевищення цих температур приводить до інтенсивного росту зерна аустеніту, збільшенню кількості залишкового аустеніту та зниженню твердості.

При гартуванні в сталі відбуваються наступні перетворення: із вихідної структури, що уявляє собою $P_{\text{зерн}}$ при нагріванні вище температури A_{C1} відбувається перетворення перліту в аустеніт; подальше підігрівання призводить до розчинення карбідів і протіканню процесу гомогенізації аустеніту. При $1020 \pm 10^\circ\text{C}$ аустеніт набуває максимальної легованості, і при цьому не відбувається значного зростання зерна. При охолодженні нижче лінії M_n проходить перетворення аустеніту на мартенсит, проте він не повністю перетворюється і тому після завершення операції гарту отримується структура $M_\Gamma + A_{\text{зал}} + K_I$.

Після гартування для зняття внутрішніх напружень сталь піддають низькому відпуску при температурі $180 \pm 10^\circ\text{C}$. Температуру відпуску обирають із умов отримання максимальної міцності і ударної в'язкості, вона не повинна бути настільки високою, щоб визвати процеси розпаду залишкового аустеніту і коагуляції карбідів, що виділяються, які сприяють

зниженню ударної в'язкості. Під час відпуску мартенсит гартування перетворюється в мартенсит відпускання, підвищується міцність і знижується твердість на 1...5 одиниць HRC. Виріб після низькотемпературного відпускання буде мати високу зносостійкість.

В результаті такої обробки (підігрівання + гартування + низький відпуск) поверхня буде мати твердість HRC 59...63 і структуру $M_{\text{від}} + A_{\text{зал}} + K_{\text{II}}$.

До додаткових операцій можна віднести промивання виробу від мастил; контроль операцій; рихтування.

Промивання здійснюється як перед термічним обробленням, так і в процесі здійснення термічного оброблення.

Мета – вилучення забруднень з поверхні виробу. Основний розчин для промивання: 5 – 8% водного розчину Na_2CO_3 , $t = 80...95\%$.

Для промивання використовують баки або машини (основне обладнання). в машинах, розчин під тиском великим струменем подається на виріб, і за 10 – 15 хв. здійснюється його високоякісне очищення.

При рихтуванні усувається короблення виробу. Причиною є пластична деформація. Її величина може сягати $\varepsilon_{\text{пл}} \approx 0,5...3\%$. Як обладнання для рихтування можна використовувати ручні преси $S < 15\text{мм}$ або гідравлічні преси $S < 200\text{мм}$).

Допоміжне обладнання забезпечує роботу основного та додаткового обладнання (обладнання для охолодження гартівної рідини, обладнання для створення розчинів для гартування). Виріб на допоміжному обладнанні не обробляється.

4.2 Розрахунок кількості виробів в робочому просторі печі

Для здійснення операції ізотермічного відпалу обираємо піч СНЗ-3.6.2/10.

С-електрична, Н-камерна, З-захисне середовище (контрольоване), ширина – 300 мм, довжина – 600мм, висота – 200 мм;робочого простору з максимальною температурою нагріву до 1000°C.Робоче середовище ендогаз (CO~19%,H₂~41%, решта N₂). Заготовка робочої частини з розмірами діаметром129,936 мм і висотою 53мм

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по діаметру робочого просто Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі:

$$n_{\text{ш}} = \text{Ш} / (d + d/2) \quad (4.1)$$

де Ш- ширина робочого простору, 350мм;

d – діаметр заготовки, 130мм;

Тоді кількість виробів по ширині робочого простору дорівнює:

$$n_{\text{ш}} = 300 / 130 + 65 = 1 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі:

$$n_{\text{д}} = \text{Д} / (d + d/2) \quad (4.2)$$

де Д- довжина робочого простору, 600мм;

d – діаметр заготовки, 130мм;

Тоді за довжиною розміщується:

$$n_{\text{д}} = 600 / 130 + 65 = 3 \text{ шт}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яp}} = n_{\text{ш}} \times n_{\text{д}} = 1 \times 3 = 3 \text{ шт}$$

Щоб розрахувати масу садки, треба визначити масу деталі яку поміщують у піч. Маса деталі 3.5 кг

Розрахуємо масу садки :

$$M_{\text{с}} = N \times m = 3 \times 3.5 = 10,5 \text{ кг}$$

Для підігріву та остаточного нагрівання під гарт обираємо піч СВС 3,6.5.5/13: С – електрична, В – піч ванна, С- робоче середовище сіль, з шириною 350 мм, довжиною 800мм, висотою 400мм, максимальний нагрів до температур 1300°C.Робоче середовище 100% NaCl.

Розраховуємо кількість виробів що поміщуються по ширині робочого простору печі СВС 3,6.5.5/13 за формулою 4.1:

$$n_{\text{ш}} = 350 / 130 + 65 = 1 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість виробів що поміщуються по довжині робочого простору печі за формулою 4.2, довжина робочого простору 500 мм, а діаметр заготовки 130 мм $n_{\text{д}} = 500 / 130 + 65 = 2 \text{ шт}$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яp}} = n_{\text{ш}} \times n_{\text{д}} = 1 \times 2 = 2 \text{ шт}$$

4.3 Розробка режимів основних та допоміжних операцій ТО

Режим термічної обробки складається з наступних параметрів: швидкість нагрівання, температура нагрівання, час витримки та швидкість охолодження.

В більшості випадків швидкість нагрівання не обумовлюється, тобто вона є величиною технічно довільною.

Для попередньої термічної обробки, а саме ізотермічного відпалу використовується піч СНЗ - 3.6.2/10

Розрахуємо час проведення відпалу, який розраховується за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} \quad (4.3)$$

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

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

Швидкість нагрівання десь приблизно 100°C/год. Повинні нагріти до 860°C, таким чином:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}} \quad (4.4)$$

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.

Отже, час нагрівання становить:

$$\tau_{\text{н}} = 64.9 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 1.72 = 156.2 \text{ хв} = 2.6 \text{ год}$$

Час витримки при заданій температурі можна вважати таким, що отримується з розрахунку 1,5 – 2 хв/мм – для сталі Х12М за умови їх

нагрівання в електричних пристроях при відпалі. Таким чином $\tau_b = 46$ хв.
Тоді

$$\tau_{\text{заг}} = 2.6 + 0,77 = 3.37 \text{ год.}$$

$$\tau_{\text{ох1}} = (t_n - t_k) / V_{\text{ох}} = (860 - 710) / 40 = 3,75 \text{ год}$$

Потім садку вже нагріту до 710 °С охолоджують з піччю. Витримка при цій температурі узгоджується з діаграмою ізотермічного розпаду аустеніту сталі X12M. Як бачимо щоб аустеніт повністю перетворився у перліт його необхідно витримувати приблизно 5 годин, тобто $\tau_b = 300$ хв.

$$\tau_{\text{ох2}} = (t_n - t_k) / V_{\text{ох}} = (710 - 550) / 50 = 3.2 \text{ год}$$

Далі іще іде охолодження із піччю до 550°С, а далі садка переноситься на повітря де продовжується охолодження.

$$\tau_{\text{ох3}} = (t_n - t_k) / V_{\text{ох}} = 550 - 20 / 5 = 88 \text{ (с.)} = 1,47 \text{ год}$$

Після ізотермічного відпалу отримується структура $\Pi_{\text{зерн.}}$

Основна термічна обробка:

Підігрів (піч-ванна СВС-3,6.5.5/8,5):

Тривалість прогрівання розраховують як добуток питомої тривалості прогрівання на коефіцієнти, які враховують вплив форми інструменту[9]:

$$\tau_n = \tau_{\text{с.п}} = K_1 \cdot (V/F) \cdot K_\phi \cdot K_n \quad (4.5)$$

де K_1 - коефіцієнт, який характеризує питому тривалість прогрівання, хв/см інструментів;

V/F – відношення об'єму до тепло сприймаючої поверхні зразків простої форми. Для суцільного циліндру $V/F = (D \cdot H) / (4H + 2D)$, см;

K_ϕ – критерій форми, який враховує вплив теплопередачі через різні поверхні гладких тіл при всебічному нагріванні. Для короткого циліндру $K_\phi=1+0,2 (H/D)[9]$;

$K_{\text{и}}$ - коефіцієнт конфігурації інструменту. $K_{\text{и}}=0,9$;

$$K_1=12,5-0,025(t_{\text{н}} - 800)= K_1=12,5-0,025(850 - 800)=11,25 \text{ хв}$$

$$V/F=(D \cdot H)/(4H+2D)=(12.9936 \cdot 5.3)/(4 \cdot 12.9936+2 \cdot 5.3)=1.1 \text{ см}$$

$$K_\phi=1+0,2 (H/D)= K_\phi=1+0,2 (12.9936/53)=1.4$$

$$\tau_{\text{п}}=\tau_{\text{с.п}}=K_1 \cdot (V/F) \cdot K_\phi \cdot K_{\text{и}}= 11.25 \cdot 1.09 \cdot 1.4 \cdot 0.9=15.59 \text{ хв};$$

$$\tau_{\text{в}} = 3,1 \cdot 2=6,2 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{с.п}} + \tau_{\text{в}}=6,2+15.59=21,79 \text{ хв}$$

Гартування (піч-ванна СВС-3,6.5.5 /13):

Для високотемпературного нагрівання:

$$K_1= K_1=8-0,013(t_{\text{н}} - 1000)$$

$$K_1=8-0,013 \cdot (1020 - 1000)=7.74 \text{ хв}$$

$$V/F=(D \cdot H)/(4H+2D)=(12.936 \cdot 5.3)/(4 \cdot 12.9936+2 \cdot 5.3)=1.1 \text{ см}$$

$$K_\phi=1+0,2 (H/D)= K_\phi=1+0,2 (12.9936/53)=1.4$$

$$\tau_{\text{г}}=\tau_{\text{с.п.}}=K_1 \cdot (V/F) \cdot K_\phi \cdot K_{\text{и}}=7.74 \cdot 1.1 \cdot 1.4 \cdot 0.9=10.7 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{в}} = \tau_{\text{в3}}=2,5 \text{ хв.} + 0,3 \text{ хв. на 1 мм товщини виробу};$$

$$\tau_{\text{в}} = 2,5 + 0,3 \cdot 6 =4,3 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{с.п.}} + \tau_{\text{в}} = 4.3+10.7=15 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{ох}}=1020-20/50=20 \text{ с}=0,3 \text{ хв}$$

Відпуск (піч СНО-3.6.2/3) час нагрівання розраховується за формулою 4.1.

Так як виріб представлений у вигляді циліндру, то характеристичний розмір дорівнює половині діаметру заготовки, а саме $S = 64.9 \text{ мм}$.

Коефіцієнт форми обирається з таблиці і він дорівнює $k = 1$

Коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання також обирається з таблиці і він дорівнює $f=1.4$.

Модифікований коефіцієнт легування дорівнює $L=2.35 \text{ хв/мм}$.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання:

$$t_{\text{н}} = 64.9 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 2.35 = 87.185 \text{ хв}$$

Для визначення часу витримки при технологічній температурі необхідно звертатися до довідникової літератури [10], звідки визначаємо, що $t_{\text{в}} = 120 \text{ хв}$.

Таким чином можна розрахувати час проведення відпускання:

$$t_{\text{заг}} = 87.185 + 120 = 207.185 \text{ хв} = 3,4 \text{ год}$$

Охолодження виробу після відпуску відбувається на повітрі, тобто швидкість охолодження складає $5^{\circ}\text{C} / \text{хв.}$, до кімнатної температури. Тоді час витрачений на охолодження дорівнює:

$$t_{\text{охол}} = (180 - 20) / 5 = 32 \text{ хв}$$

4.4 Розробка контрольних операцій

Рациональне використання контрольних операцій дозволяє попередити появу браку і надає можливість оцінити якість продукції, що обробляється.

При виконанні гартування контролюють всі основні технологічні параметри процесу: тривалість та температуру нагрівання, температуру масла для гартування, температуру охолоджуючих середовищ.

Передбачається три види контролю:

- вхідний, при цьому визначається марка сплаву, хімічний склад (за допомогою стилоскопів), стан поверхні, форма і розміри. На поверхні не повинно бути грубих подряпин, тріщин, вдавлювань, контролюється це за допомогою магнітного, люмінесцентного та інших методів дефектоскопії.

- поточний (поопераційний), здійснюється після виконання основних та додаткових операцій. Після гартування контролюється структуру та розмір зерна. Металографічний метод використовують для визначення структури сплаву.

- вихідний(завершальний), на цьому етапі перевіряються параметри виробів, які передбачені робочим кресленням. Проводяться випробування на розтяг, та ударним згином. Контролюється час та температура гартування, відпуску.

Таким чином, під час виконання термічної обробки необхідно дотримуватись маршрутної технології, яка оформлюється у вигляді технологічної карти. Карта технологічного процесу термічної обробки представлена у таблиці 4.1. Графік термічної обробки ролика для накочування рифлень виготовленого зі сталі X12M представлений на рисунку 4.2.

При суворому дотриманні всіх технологічних параметрів і при правильному проведенні процесу термічної обробки отримують якісні вироби, що відповідають заданим вимогам.

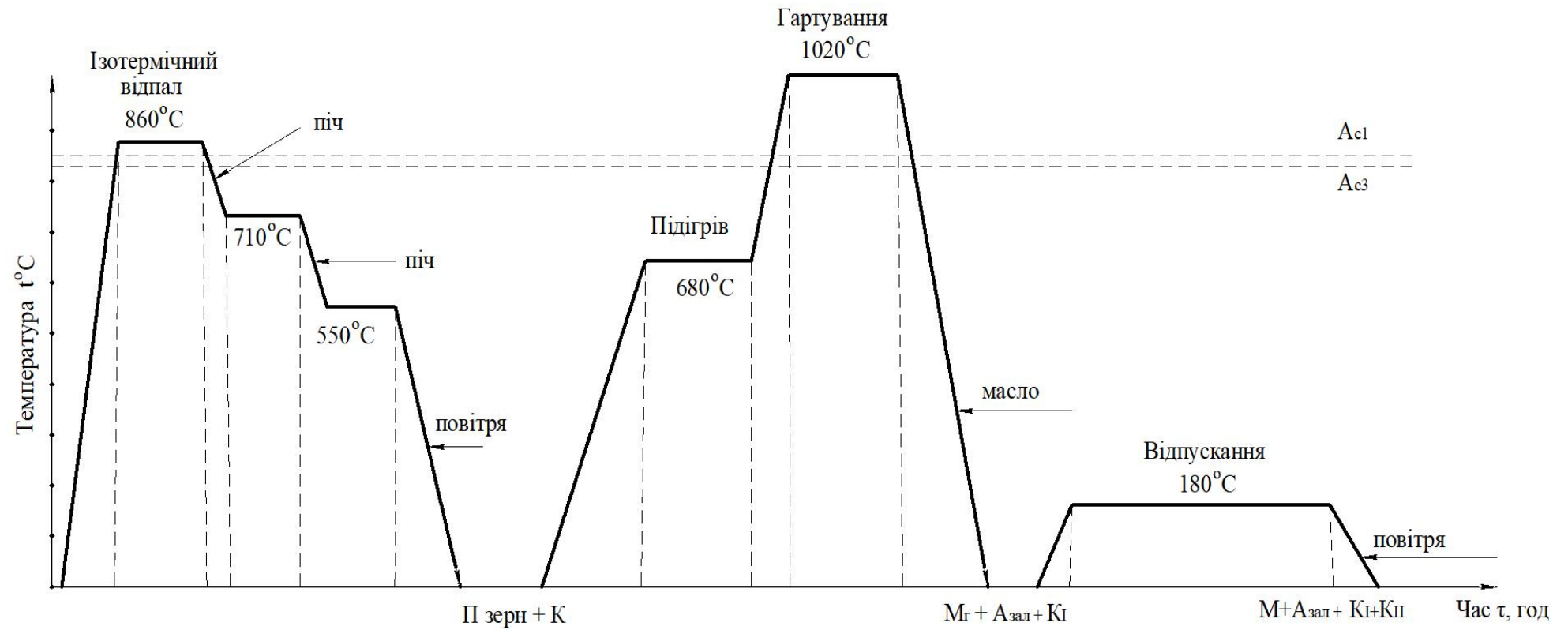


Рисунок 4.1 – Графік термічної обробки ролика для накочування рифлень виготовленого зі сталі X12M

Таблиця 4.1 - Карта технологічного процесу термічного оброблення виробу – ролик для накочування рифлень

Ескіз виробу		Технічні вимоги				
Дивись креслення 1.1		Матеріал		Властивості		Структура
		Сталь X12M		HRC 59...63 $\sigma_{3T} > 2600 \text{ МПа}$ $KCU \geq 40-50 \text{ Дж/см}^2$		M+Azal+K _{II}
№	Операція або перехід	Обладнання прилади або інструменти	Умови нагрівання: t, τ , середовище його склад та витрати	Умови охолодження: t_K , V, середовище, тривалість	Пристосування технологічність та кількість виробу в ньому	Умови оброблення та контролю
1	2	3	4	5	6	7
1.	<u>Вхідний контроль</u>	Стилоскоп, вимірювальні інструменти				Хімічний склад, розміри, відсутність поверхневих дефектів.
2. 2.1	<u>Ізотермічний відпал</u> Нагрів	CHЗ 3.6.2/10	$t_{np}=20^\circ\text{C}$; $t_K=860 \pm 10^\circ\text{C}$; $\tau_H=156 \pm 5 \text{ хв}$ ендогаз CO~19%, H ₂ ~41%, решта N ₂			t; τ_H , витрати та склад захисної атмосфери, а також кількість виробів в садці
2.2	Витримка	CHЗ 3.6.2/10	$t_B=860 \pm 10^\circ\text{C}$; $\tau_B=46 \text{ хв.}$; ендогаз CO~19%, H ₂ ~41%			t; τ_B , витрати та склад захисної атмосфери, кількість виробів в садці

			, решта N ₂			
--	--	--	------------------------	--	--	--

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
2.3	Охолодження	СНЗ 3.6.2/10		t _п =860±10°C; t _к =710±5°C, ендогаз, V _{ох} =40 °C/год τ _{ох} =225±5хв.; охолодження з піччю		t _п ;t _к ; V _{ох} ; τ _{ох} ; витрати та склад середовищ, кількість виробів в садці
2.4	Витримка	СНЗ 3.6.2/10	t _в =710±5°C; τ _в =300±5хв.; захисне середовище			t; τ _в ; витрати та склад захисної атмосфери, кількість виробів в садці
2.5	Охолодження	СНЗ 3.6.2/10		t _п =710±5°C; t _к =550°C із піччю V _{ох} =50 °C/год τ _{ох} =192±5хв;		t _п ;t _к ; V _{ох} ; τ _{ох} ; витрати та склад середовищ, кількість виробів в садці
2.6	Охолодження	Стіл		t _п =550°C; t _к =20°C; повітря;		t _п ;t _к ; V _{ох} ; τ _{ох} ; витрати та склад середовищ, кількість виробів в садці
3	<u>Контроль</u>	Мікроскоп та ТК				Мікроструктуру та твердість

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
4. 4.1	<u>Гартування</u> Підігрівання	СВС 3.6.5,5/8,5	$t_{\text{п}}=20^{\circ}\text{C};$ $t_{\text{к}}=680\pm 10^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{н}}=15,59\pm 5\text{хв};$ 44%NaCl +56%KCl			$t; \tau_{\text{н}}$, витрати та склад захисної атмосфери, а також кількість виробів в садці
4.2	Витримка	СВС 3.6.5,5/8,5	$t_{\text{в}}=680\pm 10^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{в}}=6,2\pm 5\text{хв};$ 44%NaCl +56%KCl			$t; \tau_{\text{в}}$, витрати складових захисної атмосфери, кількість виробів в садці
4.3	Нагрівання	СВС 3.6.5,5/13	$t_{\text{п}}=680\pm 10^{\circ}\text{C};$ $t_{\text{к}}=1020\pm 10^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{н}}=10,7\pm 5\text{хв};$ 100%NaCl			$t; \tau_{\text{н}}$, склад розплаву солей, кількість виробів в садці
4.4	Витримка	СВС 3.6.5,5/13	$t_{\text{в}}=1020\pm 10^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{в}}=3,1\text{хв};$ 100%NaCl			$t; \tau_{\text{в}}$, склад розплаву солей, кількість виробів в садці
4.5	Охолодження	Гартівний бак		$t_{\text{п}}=1020\pm 10^{\circ}\text{C};$ $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C};$ $V_{\text{ох}}=50^{\circ}\text{C}/\text{год}$ $\tau_{\text{ох}}=0,3\text{хв}; \text{масло};$		$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}, \tau_{\text{ох}}, V_{\text{ох}},$

Кінець таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
5.	<u>Контроль</u>	ТК, мікроскоп				Твердість, структуру, геометрію, зовнішній огляд
6.	<u>Відпуск</u>					
6.1	Нагрів	СНЗ 3.6.2/3	$t_{\text{п}}=20^{\circ}\text{C};$ $t_{\text{к}}=180\pm 10^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{н}}=87,185\pm 5\text{хв.}$			$t; \tau_{\text{н}}$, склад розплаву солей, витрати розплаву солей, кількість виробів в садці
6.2	Витримка	СНЗ 3.6.2/3	$t_{\text{в}}=180\pm 10^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{в}}=120\pm 5\text{хв};$			$t; \tau_{\text{в}}$, склад розплаву солей, витрати, кількість виробів в садці
6.3	Охолодження	Стіл		$t_{\text{п}}=180\pm 10^{\circ}\text{C};$ $t_{\text{к}}=20^{\circ}\text{C};$ $\tau_{\text{ох}}=32\pm 5\text{хв};$ повітря		$t_{\text{п}}; t_{\text{к}}; \tau_{\text{ох}}; V_{\text{ох}}$
7	<u>Контроль</u>	Мікроскоп ТК універсальна машина для випробування на розтяг				Мікроструктура, твердість, кількість в сталі $A_{\text{зал}}, \sigma_{\text{зг}}$

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

Висока якість продукції забезпечується правильно проведеним вхідним, міжопераційним та завершальним контролем.

Вхідний контроль охоплює перевірку матеріалів, що використовується 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.

Міжопераційний контроль технологічних процесів термічної обробки полягає в: перевірці готовності термічного обладнання і оснащення для виконання технології термічної обробки; вимірювання, регулювання і запис робочих температур автоматичними терморегуляторами у печах і ваннах з заданою точністю; точне виконання витримок при виконанні операції нагріву й охолодження інструменту; періодичне контролювання хімічного складу атмосфер, а також соляних і лугових складових ванн; забезпечення своєчасного очищення й розкислення соляних нагрівальних ван, а також регулярне коректування вмісту ванн охолодження; попередній контроль окремих параметрів інструменту.

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 надаватись із необхідними структурами та властивостями.

Основними видами контролю якості інструмента після термічної обробки є:

- візуальний контроль для виявлення тріщин, оплавлення рифленної кромки інструмента та інших поверхневих дефектів(100%);
- визначення твердості інструмента;
- контроль мікроструктури на якість відпуску в кількості 2-3% від садки;
- перевірка деформації.

Проте, у виробництві нерідко виникають випадки, коли технолог вимушений з'ясувати причини виникнення тих чи інших дефектів. На підставі цих досліджень, технолог розробляє заходи по усуненню дефектів. Слід зважити на те, що дефекти можуть бути виправними та невиправними.

Виправні дефекти – дефекти, котрі усуваються термічною обробкою, або іншими технологічними операціями. Це означає, що вони не є структурними або невиправними проблемами, а можуть бути виправлені з використанням певних методів та процедур.

Невиправні дефекти – дефекти, які не дозволяють отримувати задовільну поверхню. Заготовки із такими дефектами утилізуються (переплавляються). Вони мають серйозний вплив на якість і використовуваність заготовок і не дозволяють отримати задовільну поверхню або властивості.

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				
1	Крупнозернистість (перегрів)	1 Нагрів до температур вище оптимальних. 2 Тривала витримка.	1.,2 Дотримання температури та часу обробки.	1.,2Повторний відпал.

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2	Завищена твердість	1 Завищена швидкість охладження при відпалі. 2 Занижена температура ізотермічної витримки при ізотермічному відпалі. 3 Занижений час при ізотермічному відпалі.	1 Дотримуватися оптимальних швидкостей охладження. 2 Дотримання оптимальної температури. 3 Дотримання оптимального часу.	1.,2.,3. Повторний відпал за оптимальним режимом.
3	Занижена твердість	1 Знеуглецювання. 2 Завищена температура ізотермічної витримки. 3 Занижена швидкість охладження та перетворення аустеніту при температурах близьки х до A_1 при ізотермічній	1. Нагрів в захисній атмосфері. 2 Зниження температури ізотермічного перетворення. 3. Збільшити швидкість охладження, зменшити температуру ізотермічної витримки.	1. Дефект невиправний; можлива ХТО. 2.,3. Проведення відпалу за раціональним режимом.

		витримці.		
--	--	-----------	--	--

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
4	Висока твердість	1 Недотримання температури, часу та швидкості охолодження.	1 Дотримання заданих температур і часу.	1 Повторний відпал, з правильно підібраними температурами.
5	Знеуглецювання	1 Нагрівання проводиться не в захисній атмосфері.	1 Нагрів в захисній атмосфері.	1 Дефект невивправний, можлива ХТО
Гартування				
1.	Тріщина	1 Неметалеві включення та інші концентратори напружень. 2 Завищена	1 Проведення термічної обробки матеріалів виробів із грубими неметалевими включеннями. 2 Використання	1 Дефект невивправний.

		швидкість охолодження при гартуванні. 3 Завищена швидкість нагрівання.	оптимального гартівного середовища. 3Сходинкове нагрівання із регламентованою швидкістю.	
		4 Завищена температура гартування.	4 Дотримання оптимальної температури гарту,сходинкове охолодження.	

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2	Занижена твердість	1Занижена температура гарту. 2Занижений час витримки при раціональних температурах.	1.,2Термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу.	1.,2 Відпал та гарт за раціональним режимом;
3	Понижена твердість	1 Велика кількість аустеніту залишкового. 2Знеуглецювання.	1 Дотримання раціональної температури гартування; 2 Проведення гартування в розплаві солей;захисному середовищі;вакуум і.	1Обробка холодом. 2Дефект невиправний.

		3 Охолодження зі швидкістю менше критичної.	3 Проведення охолодження у відповідному середовищі зі швидкістю вище критичної.	3 Відпал та повторний гарт в раціональному середовищі
4	Крупне зерно	1 Перегрів(завищена температура гарту та час гарту);	1 Дотримання заданих температур і часу;	1 Відпал або високотемпературний відпуск і повторний гарт.

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5
5	Короблення	1. Нераціональне розташування виробів в садці. 2. Охолодження із підвищеною швидкістю.	1 Дотримання схеми садки при її формуванні. 2 Гарт у відповідному середовищі;	1., 2 Рихтування.
Відпуск				
1	Понижена твердість	1 Невідповідні температури та тривалість відпуску. 2 Велика кількість $A_{\text{зал}}$.	1 Дотримання технології. 2 Дотримання технології	1 Повторне ТО. 2. а) Обробка холодом; б) додатковий відпуск.
2	Твердість завищена	1 Недотримання відповідної температури та тривалості.	1. Виконання у відповідності із технологічним процесом.	1 Повторне відпускання при більш високій

				температурі.
--	--	--	--	--------------

Якість інструмента повинна бути забезпечена суворим дотриманням і контролем (переважно автоматизованим) всіх технологічних параметрів при гартуванні й відпусканні (операційний контроль).

Остаточний контроль якості інструментів повинен передбачати вибірку або суцільну перевірку всіх параметрів, передбачених кресленнями інструмента й технічних умов на термічну обробку, включаючи візуальну перевірку зовнішніх дефектів і якості очищення поверхні інструментів, визначення деформації (биття або кривизни). Крім того, перевіряють твердість, а також відсутність тріщин. Вибірково (2-3% деталей від партії) перевіряють мікроструктуру після відпуску.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

При проведенні процесів термічної та хіміко-термічної обробки необхідно передбачити міри захисту робітників від впливу небезпечних виробничих факторів. Працюючі повинні використовувати засоби індивідуального захисту. Всі робітники проходять інструктаж щодо техніки безпеки праці.

З метою контролю процесів підготування виробів до термічної обробки, контролю та регулювання параметрів термічної обробки металів (температури, тиску в робочому просторі печі, вмісту компонентів в газовому середовищі тощо) необхідно використовувати блокування, а також засоби світлової та звукової сигналізації при порушеннях технологічного процесу, що можуть призвести до виникнення аварійної ситуації.

Нагріті в процесі термічної обробки вироби необхідно розміщувати в місцях, що обладнані ефективною витяжною вентиляцією або в спеціально обладнаних охолоджувальних приміщеннях чи устроях. Приміщення термічних цехів повинні бути оснащені вибухозахищеною витяжною

вентиляцією, а також контрольно-вимірювальними приладами для контролю рівнів безпеки небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при даному процесі.

При термічній обробці металів необхідно застосовувати пожежонебезпечні рідини та матеріали. Отруйні солі для термічної обробки необхідно використовувати в гранульованому вигляді.

Забезпечити повний інструктаж всього персоналу щодо правил безпеки праці під час термічного оброблення у захисному середовищі. Працівники повинні бути ознайомлені з особливостями роботи в захисному середовищі та користуванням засобів індивідуального захисту.

Для захисту робітників від небезпечних факторів, пов'язаних з термічним обробленням у захисному середовищі, необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, такі як захисні окуляри, респіратори, рукавички та захисний одяг.

Забезпечити наявність блокування, світлової та звукової сигналізації для контролю та регулювання параметрів процесу термічного оброблення, таких як температура, час оброблення тощо. Це допоможе уникнути аварійних ситуацій та забезпечити безпеку працівників.

Робочі місця, де проводиться термічне оброблення у захисному середовищі, повинні бути оснащені ефективною витяжною вентиляцією та системою контролю рівнів безпеки. Це дозволить забезпечити відведення небезпечних речовин та шкідливих випарів, а також контролювати умови праці та рівні безпеки.

При термічному обробленні у захисному середовищі необхідно дотримуватися правил щодо обслуговування печей та іншого обладнання. Включені в роботу печі не можна залишати без нагляду, а несправні печі експлуатувати заборонено.

Забезпечити наявність надійних систем безпеки, які контролюють рівні захисного середовища. До таких систем можуть входити датчики

концентрації шкідливих речовин, системи аварійного вимкнення та системи евакуації в разі необхідності.

Перед початком термічного оброблення у захисному середовищі необхідно виконати перевірку наявності необхідних заходів безпеки, переконатися в належному функціонуванні обладнання та систем безпеки.

Забезпечити належне зберігання та використання отруйних солей, які використовуються в процесі термічної обробки. Вони повинні бути в безпечних контейнерах з належною маркуванням та забезпеченою вентиляцією.

Забезпечити належну вентиляцію робочих приміщень, де здійснюється термічна обробка у розчині солей. Це може включати встановлення витяжної системи або використання спеціальних хімічних фільтрів для очищення повітря від шкідливих парів.

Заборонити роботу з розчинами солей без належного навчання та досвіду. Тільки кваліфіковані працівники, які розуміють потенційні ризики та знають процедури безпеки, повинні займатися термічною обробкою у розчині солей.

Регулярно перевіряти та обслуговувати обладнання, що використовується для термічної обробки у розчині солей. Це включає перевірку наявності несправностей, ремонт та планове технічне обслуговування.

В разі виникнення аварійної ситуації, такої як пролиття розчину солей або виток шкідливих парів, негайно повідомити відповідний персонал і вжити заходів для локалізації та усунення небезпеки.

7 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Складність оцінки ресурсу інструменту для штамів холодного деформування полягає в тому, що його експлуатація практично завжди супроводжується спільною дією двох руйнівних процесів - зносу і втоми. Зазвичай приймається, що працездатність інструменту регламентується активністю того фізичного процесу, який у даних умовах контролює процес руйнування. Однак ці процеси взаємодіють і на різних етапах експлуатації штампа (від першої відштампованої деталі до його виходу з ладу) можуть прискорювати й істотно уповільнювати дію один одного **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**. На результат їхньої взаємодії впливає велика кількість чинників - конструкція і матеріал робочих деталей штампа, конструкція і ступінь зносу обладнання, цикл робочих навантажень технологічної операції тощо. Періодичні перешліфовки робочих деталей штамів з одного боку усувають наслідки зносу і зародки втомних

мікротріщин, з іншого боку створюють у поверхневому шарі напруження розтягу, ті в свою чергу каталізують процес накопичення пошкоджуваності.

Припустимо, що в цьому випадку адекватно контролювати процес накопичення пошкоджуваності за якимось параметром, заснованим на кореляції міжмагнітними і фізико-механічними властивостями, оскільки ці властивості одночасно залежать від одних і тих самих чинників- хімічного складу, режимів термічної обробки, накопиченої пошкоджуваності. Мікро- і макро-дефекти структури, накопляючись у металі в процесі циклічного навантаження, є відображенням силового режиму роботи конструкції. Як основний контрольований параметр прийнято коерцитивну силу H_c (А/м), оскільки вона однозначно пов'язана із залишковою пластичною деформацією, тобто з рівнем пошкоджуваності металу (мається на увазі сумарна пошкоджуваність металу) від дії всіх руйнівних процесів, що супроводжують експлуатацію інструменту, і привнесена в метал у процесі виготовлення інструменту. За своїм фізичним змістом коерцитивна сила - це напруженість магнітного поля, необхідна для повного розмагнічування попередньо намагніченого до насичення феромагнетика, і її можна представити як [12]:

$$H_c = \frac{B}{\mu_0} + \left[\frac{E}{K} \gamma \right]^{1/2}$$

$$H_c =$$

(7.1)

де B – залишкова індукція;

K - циклічний коефіцієнт напруження;

n – циклічний коефіцієнт зміцнення;

E – модуль пружності.

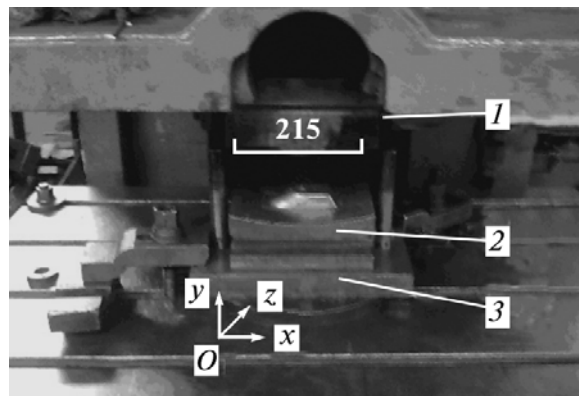
Залишкова деформація визначається аналогічними параметрами [12]:

$$E_p = \quad (7.2)$$

де σ – амплітуда напруження.

За наявності кореляційних залежностей між H_c та E_p і за величиною коерцитивної сили можна вести контроль накопичення пошкоджень у металі, а також прогнозувати ресурс інструменту. За величиною коерцитивної сили можна також виявити структурні зміни металу у тих випадках, коли інші магнітні властивості залишаються без змін. наприклад, холодна пластична деформація не змінює намагніченість насичення, але значно підвищує коерцитивну силу[12].

Було проведено низку досліджень коерцитивної сили в штампах для холодного деформування металу для будови репрезентативної вибірки отриманих значень. Для зразків зі сталі X12M приклад магнітного контролю наведена на рисунку 7.1[14]



1 – верхня плита штампу, 2 – матриця, 3 – нижня плита

Рисунок 7.1 - Один з досліджуваних штампів, встановлений на відкритий кривошипний прес номінальної системи силою 750 кН[14]

Експеримент показав однозначну закономірність - коерцитивна сила і, відповідно, кількість пошкоджень у всіх деталях штампа в напрямку,

перпендикулярному фронту преса (OZ нарисунку 7.1) і паралельному йому (OX) не збігаються за величиною. Якщо в разі матриці, яка одержана з прокату, можна було б припустити вплив технології виготовлення (напрямки прокатки), то у випадку литих деталей технологічна анізотропія властивостей так різко проявитися не може. Отже, експеримент на рівнімагнітних характеристик показав істотний вплив розташування інструменту у штамповій зоні відкритого кривошипного преса на його довговічність.

На основі отриманих даних було створено регресійні моделі, що дають змогу визначити швидкість зростання коерцитивної сили залежно від низки параметрів штампування. Проведені дослідження показали, що найчастіше відмова інструменту визначається його матрицею. Виміряли коерцитивну силу у двох взаємно перпендикулярних напрямках (OX і OZ) через певну кількість циклів навантаження штампів, регламентовану можливостями реальних виробництв, можливостями реальних виробництв. Вимірювання проводили в найбільш навантажених місцях, які визначали розрахунком чисельними методами.

Процес зростання коерцитивної сили в процесі циклічного навантаження можна описати такими регресійними моделями [12]:

$$\begin{aligned} \frac{dH_c}{dN} = & 0,85 \cdot (7 \cdot 10^{-5} \cdot X_1^2 - 0,073 \cdot X_1 + 19,105) \times \\ & (2 \cdot 10^{-6} \cdot X_2^2 - 0,008 \cdot X_2 + 8,816) \times \\ & (0,520 \cdot X_3^2 - 0,729 \cdot X_3 + 0,651) \times \\ & (3 \cdot 10^{-10} \cdot X_4^2 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot X_4 + 1,077) \times \\ & (-0,142 \cdot X_5^2 + 0,652 \cdot X_5 + 0,186) \times \\ & (7 \cdot 10^{-6} \cdot X_6^2 - 0,005 \cdot X_6 + 2,321) \end{aligned} \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{dH_c}{dN} = & 0,95 \cdot (10^{-4} \cdot X_1^2 - 0,112 \cdot X_1 + 29,160) \times \\ & (5 \cdot 10^{-6} \cdot X_2^2 - 0,017 \cdot X_2 + 14,282) \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (-0,024 \cdot X_3^2 + 0,384 \cdot X_3 + 0,642) \times \\
 & (2 \cdot 10^{-9} \cdot X_4^2 - 10^{-4} \cdot X_4 + 0,129) \times (7.4) \\
 & (-0,064 \cdot X_5^2 + 0,379 \cdot X_5 + 0,465) \times \\
 & (5 \cdot 10^{-5} \cdot X_6^2 - 0,025 \cdot X_6 + 4,648)
 \end{aligned}$$

де N - цикли навантаження інструмента;

X_1 - границя міцності матеріалу заготовки (МПа);

X_2 - границя міцності матеріалу матриці (МПа);

X_3 - кількість перешліфувальних;

X_4 - кількість деталей, знятих зі штампа на момент дослідження;

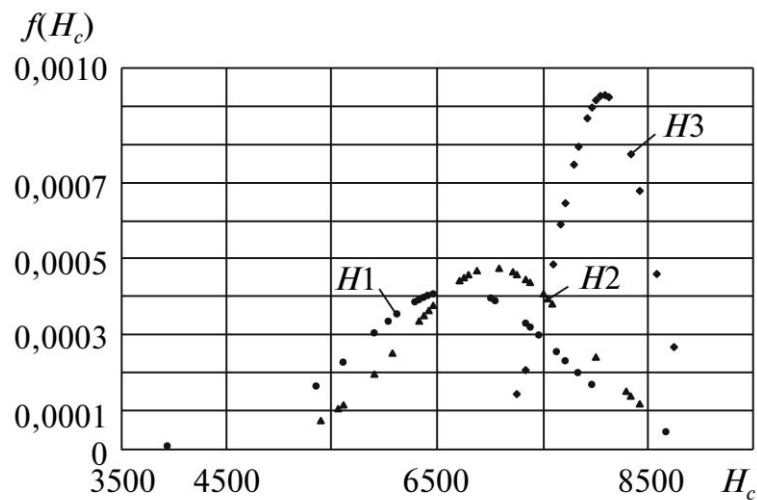
X_5 - товщина листа заготовки (мм);

X_6 - номінальна сила преса (кН).

Рівнянням (7.3) описується зміна швидкості в напрямку OX, рівнянням (7.4) - у напрямку OZ. Практично завжди швидкість зростання коерцитивної сили (як індикатора кількості пошкоджень) вища в напрямку OX. Проте для практичних розрахунків у кожному конкретному випадку це необхідно перевіряти і визначати ресурс інструменту за напрямком, де швидкість вища.

Оцінку надійності отриманих рівнянь та адекватності моделі здійснювали за допомогою коефіцієнта розбіжності Тейлора критерію Фішера. Коефіцієнт незбігу Тейла склав: для моделі в напрямку OX 0,065, у напрямку OZ 0,124. Розрахункова величина критерію Фішера для моделі в напрямку осі OX склала 340,90, а в напрямку OZ - 7,99, що більше теоретичної величини, отже, з імовірністю понад 99% модель адекватна.

Заміри коерцитивної сили (А/м) здійснювали у двох взаємно перпендикулярних напрямках (паралельно і перпендикулярно напрямку протягання), а також після випробування зразків на тріщиностійкість (поблизу зони розриву для визначення після випробування зразків на тріщиностійкість (поблизу зони розриву) для визначення значення коерцитивної сили, що відповідає моменту передруйнування (рисунок 7.2)



H1 - перпендикулярно напрямку протягання; H2 - паралельно напрямку протягання; H3 - відповідає моменту передруйнування; $f(H_c)$ - густина розподілу ймовірності; H_c - величина коерцитивної сили

Рисунок 7.2 - Графік залежності густини розподілу ймовірностей від величини коерцитивної сили (крива Гауса)[13]

Для вибірки H1 (перпендикулярно напрямку протягання) справедливо $H_c = 7027,27$ (середнє значення); $\sigma_H = 838,56$ (середньоквадратичне відхилення); $2\Delta = 3014,00$ (розмах); $H_{сн} = 6914,00$ (номінальне значення); $k_V = 11,93\%$ (коефіцієнт варіації); $k_T = 0,08$ (коефіцієнт відносної асиметрії); $\alpha = 1,67$ (коефіцієнт відносного розсіювання).

Для вибірки H2 (паралельно напрямку протягання) $H_c = 6675,10$; $\sigma_H = 955,49$; $2\Delta = 5618,00$; $H_{сн} = 5864,00$; $k_V = 17,32\%$; $k_T = 0,25$; $\alpha = 1,20$.

Для вибірки H3 (передруйнування) $H_c = 8077,02$; $\sigma_H = 429,10$; $2\Delta = 1507,00$; $H_{сн} = 8002,50$; $k_V = 5,31\%$; $k_T = 0,10$; $\alpha = 1,71$. Очевидно, що всі вибірки відповідають нормальному розподілу.

Сталь, що досліджується X12M належить до ледебуритного класу, оскільки влитому стані первинні карбіди, що виділяються під час кристалізації сталі, утворюють ледебурит (евтектику). При куванні евтектика

подрібнюється і в відпаленому стані структура складається з сорбітоподібного зернистого перліту і надлишкових карбідів різних типів. Переважаючим карбідом є сполуки типу $(CrFe)_7C_3$. На рисунку 7.3 наведено мікроструктуру сталі після термічної обробки.

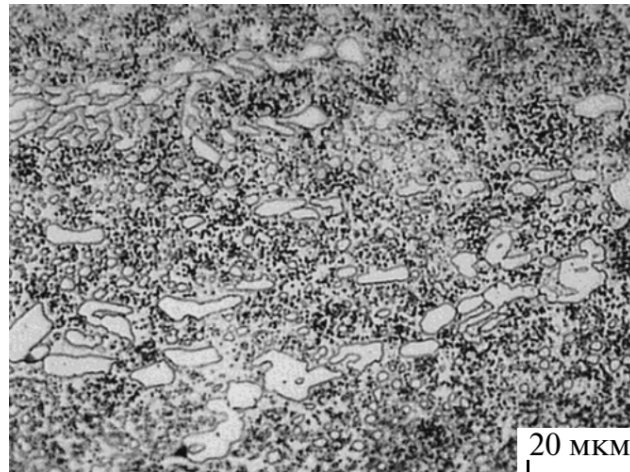


Рисунок 7.3 - Мікроструктура досліджуваних зразків зі сталі X12M, отримана на світловому мікроскопі ($\times 800$) [13]

З рисунку видно, що великі витягнуті карбіди розміром 5..20 мкм є карбідами хрому. Поряд із ними в структурі присутні дрібнодисперсні карбіди хрому розміром 1..2 мкм, а також цементит. При нагріванні вище перлітного перетворення вторинні карбіди розчиняються в аустеніті та насичуються хромом. У процесі гартування відбувається мартенситне перетворення, але, оскільки воно не закінчується при кімнатній температурі, то в структурі присутній залишковий аустеніт. Таким чином, після термообробки (гартування і відпуску) у структурі сталі X12M можуть бути присутніми такі фази: залишковий аустеніт, мартенсит і карбіди різних видів, які, можливо, і дають при намагнічуванні високі значення коерцитивної сили.

Аналіз графіків розподілу густини імовірностей показав, що первинні (для неушкодженого експлуатаційним навантаженням матеріалу) і вторинні (відповідно моменту передруйнування) криві Гауса третина (відповідно моменту передруйнування) криві Гауса розташовані дуже близько одна до

одної. Це пояснюється тим, що сталь Х12М руйнується практично за крихким механізмом[14].

Коерцитивна сила в інструментальних сталях істотно (в рази) вища за той самий параметр для конструкційних сталей. Це було виявлено вперше, і поки що (до проведення додаткових досліджень) можна припустити, що це вплив особливостей мікроструктури. Отже завдяки визначенню коерцитивної сили та даній методиці можна можна спрогнозувати ресурс роботи штампового інструменту.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломної роботи проаналізовано умови експлуатації роликів для накочування рифлень зі сталі X12M. Розглянуто хімічний склад сталі, вплив легувальних елементів на механічні властивості (твердість, ударну в'язкість, границю міцності). Також проаналізовано вплив домішок на властивості сталі.

Розроблено маршрутну технологію виготовлення інструменту зі сталі X12M, підібрано оптимальний режим термічного оброблення, який дозволяє отримати найкращі властивості.

Складено технологічну карту процесу виготовлення ролика для накочування рифлень зі сталі X12M, на основі проведених розрахунків часу кожного із етапів термічного оброблення починаючи із ізотермічного відпалу закінчуючи відпуском.

Проаналізовано можливість виникнення дефектів на кожному етапі технологічного процесу та запропоновано можливість їх усунення. Для прогнозування працездатності інструментів зі сталі X12M запропоновано методику на основі складання математичної моделі, ґрунтовану на визначенні коерцитивної сили.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Altan T. Sheetmetalforming: processesandapplications/
T Altan, A.E Tekkaya// Ohio:ASM International–2012 – 365 p.
2. Кузьменко Е.А. Фактори, що визначають стійкість штампів
холодного видавлювання / Е. А. Кузьменко, В. І. Кузьменко,
Т. А. Христофорова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та
обладнанняобробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків:
НТУ «ХПІ», 2016 – № 31(1203). – С. 50–56.
3. Kuzmenko E. A. Uluchshenieshtampuemostidoevtektoidnyihstaley v
protssahholodnogodeformirovaniya [Improvement of ability to stamping of
hypoeutectoid steel in processes of cold deformation] / E. A Kuzmenko // *Obrabotkametallovдавleniem* – 2008 – № 1(19) – P. 163–167.
4. Arslan E. Evaluation of the Microstructure of AISI D2 Steel by
Magnetic Barkhausen Noise Technique/ E.Arslan, Ö.F.Murathan,
K.Davut, V Kilicli// Conference: 18th International Metallurgy, Materials
Congress (IMMC2016). – 2016 –26(2-4), 107–113.
5. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного
деформированияметаллов/ Г. А Околович //Нові матеріали і технології в
металургії та машинобудуванні – 2010 – С– 202.
6. Davis J. R. ASM SpecialityHandbookStainlessSteels
(AsmSpecialtyHandbook) /J. R. Davis // ASM International – 1995 – 600 p
7. Zhu J, Zhang Z., Xie J. Improving strength and ductility of H13 die
steel by pre-tempering treatment and its mechanism/ J Zhu, Z. Zhang.,
J Xie //Materials Science and Engineering: A. – 2019. – T. 752. – С. 101-114.

8. Koshy P., Dewes R. C., Aspinwall D. K. High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~ 58 HRC) /P.Koshy, R. C.Dewes, D. KAspinwall //Journal of Materials Processing Technology. – 2002. – Т. 127. – №. 2. – С. 266-273.
9. Lazutkina N. A. Research of high-chromium tool steel X12M / М. А. Lazutkina, Yu. L. Shirokov, d. V. Bezrukov // New materials and technologies in machine building – 2006 – № 6 – pp. 92–93.
10. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник / Уклад. С.П. Гожій // Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с.
11. Dossett J.L, Totten E.G. Salt Bath Heat Treatment and Equipment / J. L. Dossett, G. E Totten// ASM International – 2014 – 412 p.
12. Greenberg J. H. Industrial Thermal Processing Equipment Handbook [Текст] / J. H. Greenberg // Asm International. 1994 – 400 p.
13. Корнілова А.В., Ідармачов І.М. Методи дослідження ушкоджуваності штамів та способи збільшення довговічності штампового інструменту / О.В. Корнілова, І.М Ідармачов // Зб. наукових тр. міжнар. науково-технічні. конф. «Досягнення та проблеми розвитку технологій та машин обробки металів тиском» –Краматорск – 2013–С. 265–270.
14. Mix P. E. Introduction to nondestructive testing: a training guide/ P. E Mix//Wiley-Interscience; 2nd edition– 1987 – 712p.

ДОДАТОК А

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ РОЛИКА ДЛЯ НАКОЧУВАННЯ РИФЛЕНЬ

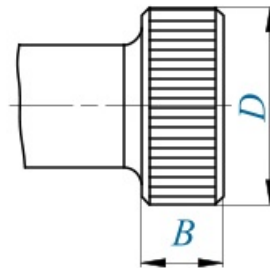


Рисунок А.1 – Ескіз ролика для накочування рифлень

Таблиця А.1 – Хімічний склад сталі Х12М, % (мас)

Матеріал	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
X12M	1,45- 1,65	0,15- 0,35	0,15- 0,4	11,0 - 12,5	0,4- 0,6	0,15- 0,3	≤0,03	≤0,03

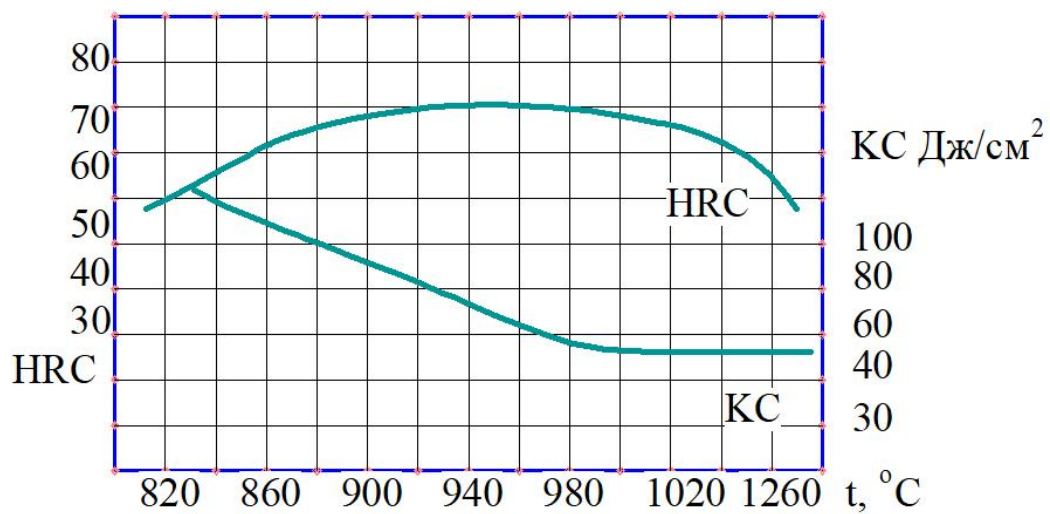


Рисунок А.2 – Графік залежності твердості та ударної в'язкості від температури гартування

ДОДАТОК Б

МІКРОСТРУКТУРА СТАЛІ ПІСЛЯ ВІДПАЛУ, ГАРТУВАННЯ

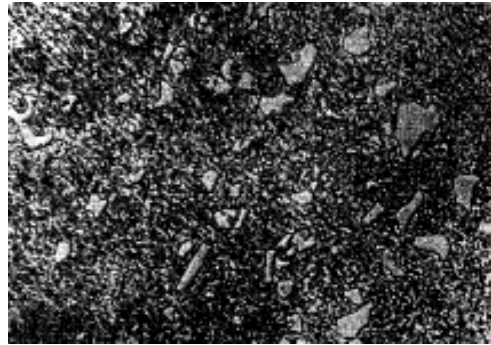
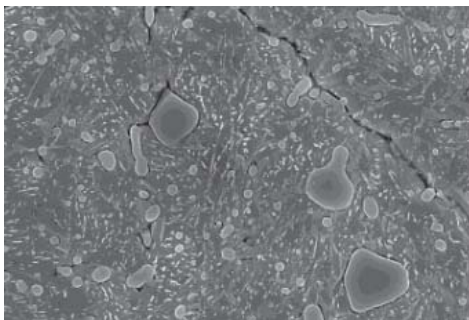
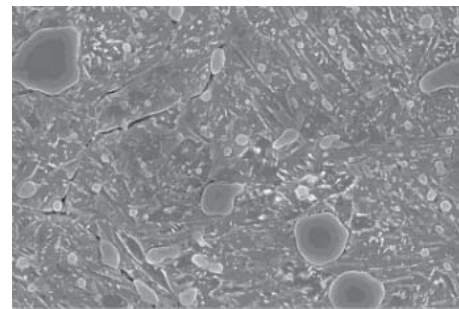


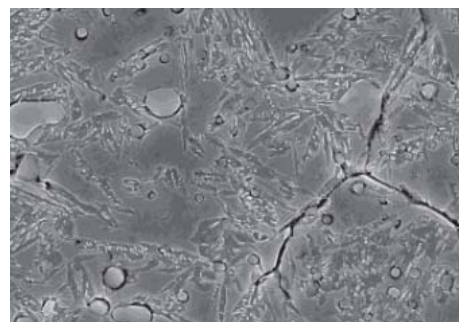
Рисунок Б.1 – Мікроструктура сталі Х12М після відпалу



а)



б)



в)

а - 860°C; б - 980°C; в - 1040°C

Рисунок Б.2 – Мікроструктура сталі Х12М в залежності від температури гартування

ДОДАТОК В

ЗАЛЕЖНІСТЬ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПУСКАННЯ

Таблиця В.1 – Вплив температури відпуску після гартування від оптимальних температур на механічні властивості сталі Х12М[7]

Сталь (рекомендована температура гартування)	Температура відпуску, °C	HRC	KCU, Дж/см ²
Х12М (1020 °C;)	100	63	39
	200	63	40
	230	60	52
	290	58	86
	320	58	86
	350	58	86
	380	55	78
	410	56	45
	450	59	42
	500	53	49

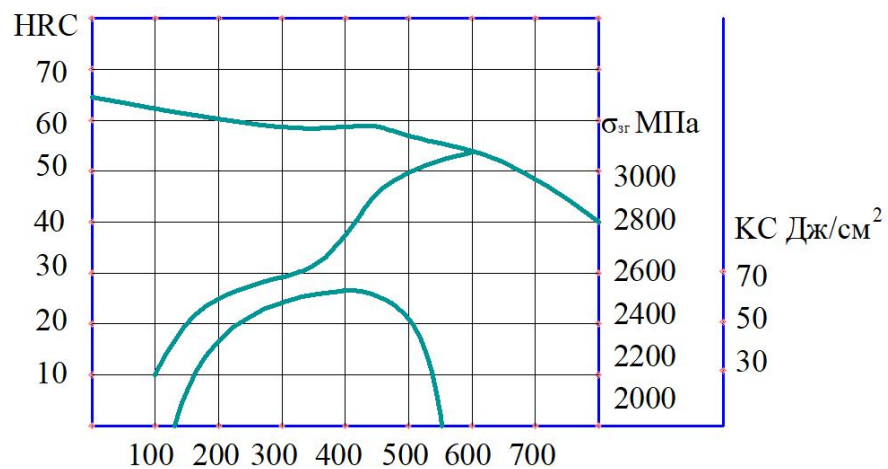


Рисунок В.1 – Залежність твердості, ударної вязкості та границі міцності при згині від температури відпуску

ДОДАТОК Г

ГРАФІК ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ Х12М

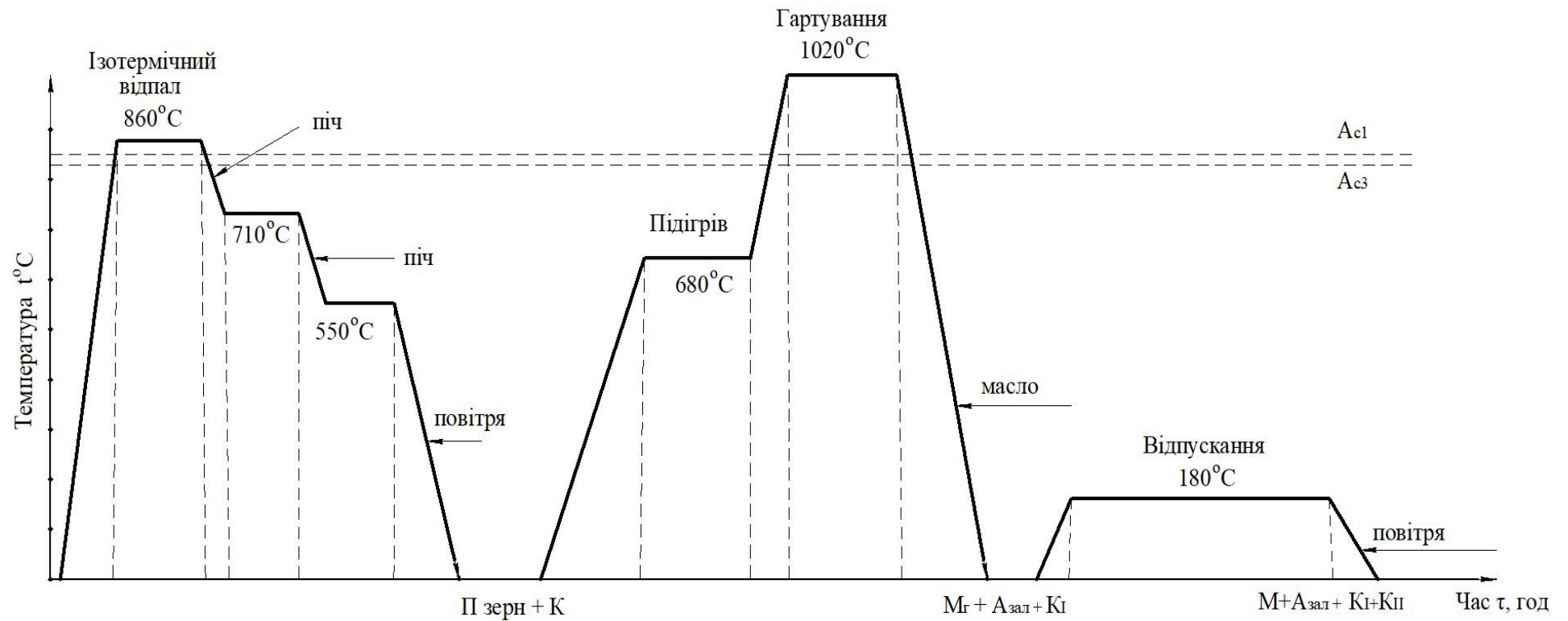


Рисунок Г.1 – Графік термічної обробки ролика для накочування рифлень виготовленого зі сталі Х12М

