

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повна найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повна найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему Оптимізація методів виробництва та режимів термічної обробки
(назва теми)
деталей штампів холодного деформування

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФ-219

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

КОСЕНКО Роман Олексійович
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник АЙКІН Микита Дмитрович
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН Антон Юрійович
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

Твердість сталі Х12Ф1 залежно від температури гартування.

Термічна обробка на вторинну твердість з використанням обробки холодом.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу	12 квітня	
2	Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення	21 квітня	
3	Характеристика матеріалів виробів	26 квітня	
4	Розробка режимів і технологій термічної обробки	19 травня	
5	Технічний контроль, попередження та виправлення браку	30 травня	
6	Спеціальна частина	08 червня	

Студент(ка)
(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Роман КОСЕНКО

Керівник проєкту (роботи)

Микита АЙКІН

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 61 с., 9 табл., 14 рис., 4 дод., 14 джерел.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ПУАНСОН ВИРУБНИЙ, СТАЛЬ, ГАРТУВАННЯ, ІЗОТЕРМІЧНИЙ ВІДПАЛ, МАСЛО, КРИТИЧНА ШВИДКІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ, МАРТЕНСИТ, ПЕРЛИТ ЗЕРНИСТИЙ, АУСТЕНИТ, КАРБИДИ, САДКА

Об'єкт розробки – пуансон вирубний зі сталі Х12Ф1.

Мета роботи – дослідження умов експлуатації інструменту, розробка маршрутної технології вироблення. Детально і всебічно проаналізувати вибраний матеріал, його технологічні, механічні, експлуатаційні властивості, роль усіх компонентів, що входять до його хімічного складу.

На основі вивчення довідникової, науково-технічної навчальної літератури обґрунтовано призначити технологію термічної обробки (попередньої, основної, додаткової). Розробити технологічну карту термічної обробки і обрати необхідні параметри процесу (операцій) та засоби контролю якості виробів при термічній обробці (інструменти, пристосування, прилади, обладнання).

Запропонувати альтернативні види термічної обробки для покращення комплексу механічних властивостей, які полягають у проведенні обробки на вторинну твердість та використання обробки холодом.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	6
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	7
2 Номенклатура та маршрутна технологія виготовлення виробів	12
3 Характеристика матеріалів виробів	16
4 Розробка режимів та технологій термічної обробки	24
5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	40
6 Спеціальна частина	46
Висновки	53
Перелік джерел посилань	54
Додаток А	56
Додаток Б	57
Додаток В.	58
Додаток Г	59

ВСТУП

Оптимізація методів виробництва та режимів термічної обробки деталей штампів холодного деформування є важливою задачею в сучасній промисловості. Штампування є одним з основних процесів формування металевих деталей, який забезпечує високу продуктивність та точність виготовлення. Однак, для досягнення оптимальної якості та ефективності виготовлення штампованих деталей необхідно ретельно досліджувати та вдосконалювати методи виробництва та режими термічної обробки.

Мета даної дипломної роботи полягає в розробці та застосуванні оптимізаційних методів для виробництва штампованих деталей шляхом покращення якості та зниження витрат виробництва. При цьому основною увагою є вивчення та аналіз різних методів холодного деформування, а також визначення оптимальних режимів термічної обробки, що впливають на властивості та механічні характеристики деталей. Порівняння існуючих режимів та альтернативних видів термічної обробки.

Результати даної дипломної роботи будуть сприяти покращенню ефективності виробництва штампованих деталей шляхом оптимізації методів виробництва та режимів термічної обробки. Отримані в ході дослідження рекомендації та практичні розробки можуть бути використані в промислових підприємствах для поліпшення якості та ефективності виготовлення штампованих деталей, що сприятиме загальному розвитку промисловості та забезпеченню конкурентних переваг на ринку.

Отже, дослідження, проведені в рамках даної дипломної роботи, є актуальними та важливими для розвитку сучасної виробничої практики в галузі штампування.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

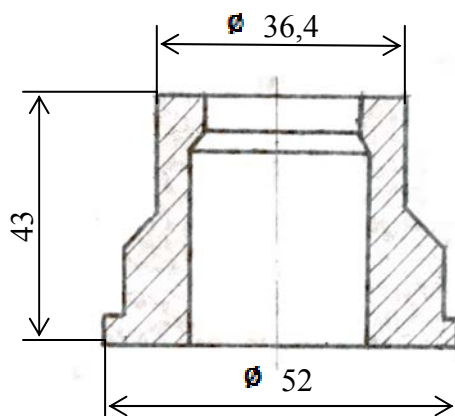
Представлений у дипломній роботі інструмент відноситься до групи штампів для гарячого та холодного деформування. Пуансон використовується для попередніх операцій, та призначений для вирубки шайб з низьковуглецевої сталі. Геометричні параметри залежать від форми та розмірів деталі, яка видавлюється.

Ескіз пуансона вирубного (а) для отримання шайб з низьковуглецевої сталі та штампу (б), де використовується даний пуансон наведено на рисунку 1.1. До виготовлення штампового інструменту для холодного штампування висуваються такі основні вимоги:

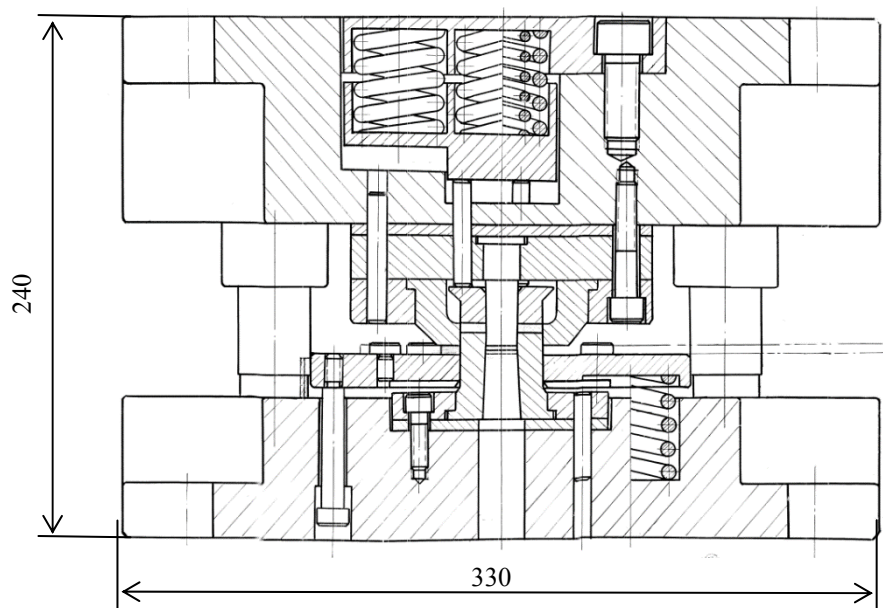
- висока точність виготовлення деталей і зборки;
- висока якість обробки поверхонь, що сполучаються та формуючих поверхонь деталей [1].

Ці вимоги залежать одна від одної. Так, наприклад, висока якість обробки поверхонь пуансонів і матриць штампа забезпечує необхідну стійкість, а точне взаємне припасування пуансона й матриці – одержання високоякісних деталей і високу стійкість штампа в роботі. Нехтування однією з цих вимог може виявитись причиною низької якості штампа. Наприклад, низька твердість штампа внаслідок неправильного режиму термічної обробки зробить неможливим одержання високої точності обробки, оскільки штамп буде мати низьку стійкість.

Штампове оснащення в процесі експлуатації перебуває під дією значних напружень. Ці напруження різні за величиною й напрямком й залежать від характеру роботи, для якої призначений штамп. Так, наприклад, матриці вирубних штампів при роботі отримують напруження згину, розриву і зрізу, а пуансони до цих штампів – напруження згину та стиснення.



а)



б)

а – ескіз пуансону вирубного, б – ескіз штампу

Рисунок 1.1 – Креслення пуансону вирубного та штампу для холодної деформації [1]

Крім силових навантажень, що виникають у робочий момент, на штампове оснащення впливають й інші умови, такі як, наприклад, забруднення матеріалу, який піддається штампуванню. Потрапляння бруду у вигляді землі або піску є причиною стирання робочої поверхні пуансонів і матриць у вирубних штампах.

Здатність штампів витримувати певну кількість вирубок до ремонту або до повного зношування називають їх стійкістю. Стійкість пуансону залежить від:

- точності об'єму;
- якості заготовок, які отримані у вирубному штампі;
- від якості їхнього виготовлення: від точності сполучення, термічної обробки деталей штампа, що беруть участь у формоутворенні виробів, якості обробки робочих поверхонь пуансонів і матриць.

На заготовках не повинно бути заусенців, бо збільшення об'єму негативно впливає на дану характеристику. Стійкість пуансону також в значній мірі залежить від його конструкції. Пуансон повинен мати значні переходи; торцюва поверхня, яка сприймає навантаження, повинна бути скошеною ($\alpha = 1 \div 2^\circ$). Для вирубних штампів середня стійкість становить 15000 – 20000 деталей до переточування і 600000 – 800000 деталей до повного зношування[2].

При виготовленні пуансону необхідно звертати особливу увагу на те, щоб при шліфуванні на торці не залишалися риски, які являють собою концентратори напружень, які, в свою чергу, ведуть до утворення тріщин і відповідно до зменшення стійкості інструменту.

Правильне та стабільне сполучення поверхонь штампів, також залежить від шорсткості поверхні деталей, що сполучають. Погано відполіровані посадні поверхні після нетривалої роботи внаслідок стирання гребінців втрачають свої розміри: збільшується розмір отвору, а розмір стрижня зменшується й ковзаюча посадка переходить у посадку руху або ходову, точність втрачається.

При виготовленні пуансонів вирубних штампів необхідно приділяти увагу допускам. Допуски тісно пов'язані з величиною зазору між пуансонами і матрицею, тому що підвищені допуски спричиняють збільшення даного зазору. Оскільки зношування пуансона приводить до зменшення розмірів деталі, розміри пуансона повинні задаватися максимальні.

Витримати всі ці навантаження зможе лише така деталь штампа, для виготовлення якої був правильно обраний матеріал. Від правильного вибору матеріалу для кожного виду деталей і відповідного режиму його термічної

обробки залежить працездатність, міцність і збереження розмірів робочих частин штампів.

Так, наприклад, для виготовлення вирубного штампа для холодного штампування з листового матеріалу необхідно, щоб сталь, що використовується для виготовлення пуансонів і матриць, мала наступні основні властивості:

- була високоміцною, тому що в процесі експлуатації штамп зазнає високих зусиль та ударних навантажень;
- мала високу твердість, оскільки процес вирубки можна здійснити лише за умови, якщо твердість матеріалу пуансона й матриці штампа буде значно більшою ніж твердість матеріалу, що штампується;
- була зносостійкою, оскільки довговічність роботи вирубного штампа залежить від ступеня стирання його робочих крайок;
- мала високу в'язкість, щоб внаслідок частих і сильних ударів ріжучі крайки не викришувались;
- мала гарну прогартовуваність, яка забезпечує відсутність тріщин після гартування й достатню глибину загартованого шару, що дає можливість неодноразово заточувати пуансон штампа й шліфувати дзеркало матриці[2].

Отже до матеріалу вирубного пуансону для отримання шайб з низьковуглецевої сталі висувуються наступні вимоги $\sigma_{\text{зг}} \geq 2400$ МПа, HRC = 60...63, $KC \geq 25$ Дж/см², $P = 1500 \dots 1700$ МПа, інструмент експлуатується при температурі $t \leq 350^{\circ}\text{C}$.

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 загартовуваність, тобто можливість одержати високу твердість і рівномірну дрібнозеренну структуру;
- мала чутливість до перегрівання, тобто можливість здійснення гарту із нагріванням до високих температур;
- мала деформація деталей при термічній обробці;

- невелика чутливість до знеуглецювання при нагріванні, що знижує твердість поверхневого робочого шару металу;
- задовільна шліфуємість, що визначає високий клас чистоти шліфованої поверхні й продуктивність шліфування[2].

Для виготовлення пуансону застосовують штампові сталі для холодного деформування, які належать до класу сталей з підвищеною або високою зносостійкістю, наприклад X12Ф1, X12М, X12, X12МФ, X12Ф4М, X6Ф4М, X6ВФ, 8Х6МФТ.

2 НОМЕНКЛАТУРА ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому підрозділі. В дипломній роботі розглядається група однотипних за умовами експлуатації та вимогами до матеріалів виробів – пуансони вирубні. В таблиці 2.1 наведений перелік інструменту, що оброблюється в термічному відділі інструментального цеху.

Таблиця 2.1 – Перелік різального інструменту, що оброблюється в термічному відділенні інструментального цеху [1]

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу, кг	Розміри виробу, мм			Вимоги до матеріалу
			D	d	h	
Пуансон вирубний	X12Ф1	0,15	52	36,4	43	$\sigma_{зг} \geq 2400$ МПа, HRC = 60...63, $KC \geq 25$ Дж/см ² , P=1500...1700 МПа
Пуансон вирубний	X12Ф1	0,21	60	41,6	52	
Пуансон вирубний	X12Ф1	0,28	63	45	57	

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних, інструментальних, спеціальних заготівельних підприємствах уявляє собою логічну послідовність технологічних операцій. Маршрутна технологія уявляє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства. У ній зазначаються виконувані операції, які можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей. В розробці маршрутної технології приймають участь фахівці тих цехів, в яких відбувається обробка даного виробу. Вона може включати десятки операцій.

Ураховуючи це в дипломній роботі необхідно розробити схему маршрутної технології (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Схема маршрутної технології виготовлення пуансону вирубного

№ 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 механічного цеху	Ізотермічний відпал для отримання однорідної структури, перерозподілу легувальних елементів, зменшення кількості напружень та твердості.
4	Механічна обробка	Механічний цех	Обробка робочих частин пуансону.
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, на відповідність робочому кресленню
8	Зборка	Складальний цех	Зборка, випробування й налагодження штамів.

Операції 4, 6 й 8 виконуються слюсарями по штампах. Слюсарі беруть участь й у механічній обробці, виконуючи розмічальні й проміжні слюсарні роботи, а в деяких випадках – нескладні верстатні роботи.

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

Обробка пуансонів, що мають фасонний профіль: контур пуансонів попередньо обробляють на металорізальних верстатах по розмітці на подальшу обробку; потім роблять відбиток контуру по загартованій й остаточно доведеній матриці та по відбитку обпилюють пуансон з урахуванням необхідного зазору між пуансоном і матрицею; гартують пуансон й остаточно доводять його робочу частину.

Так як пуансон має контури, оброблювані на токарському верстаті, то на його торці залишають циліндричний виступ діаметром, що відповідає контуру

вікна в матриці, і за допомогою цього виступу центрують пуансон на матриці. Після термічної обробки й остаточного припасування загартованого пуансона по матриці цей виступ видаляють шліфуванням торця на верстаті. Залежно від форми контуру ця робота може бути частково або повністю виконана й на плоскошліфувальному верстаті з наступним слюсарним обпилюванням по матриці[3].

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

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 бормашинами можна доводити поверхню пуансонів безпосередньо на робочому місці слюсаря.

Зборка є завершальним і найбільш відповідальним етапом у виготовленні штампів. Найменша недбалість у зборці може привести до зменшення терміну роботи штампа або викликати аварію при його експлуатації[3].

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

У дипломній роботі для виготовлення пуансона вирубного використано сталь Х12Ф1, яка найкраще відповідає умовам експлуатації інструменту. Розглянемо хімічний склад даної сталі, який наведено у таблиці 3.1, значення температур критичних точок (табл.3.2), та режими кування і відпалу (табл.3.3).

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі Х12Ф1, % (мас.)[5]

Матеріал	C	Si	Mn	Cr	V	Ni	Cu	P	S
X12Ф1	1,25- 1,45	0,15- 0,35	0,15- 0,4	11,0- 12,5	0,7- 0,9	≤ 0,35	≤ 0,3	≤0,03	≤0,03

Таблиця 3.2 – Значення критичних точок сталі Х12Ф1[5]

Матеріал	Температура критичних точок, °C				
	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	Mn
X12Ф1	810	860	780	760	225

Таблиця 3.3 – Режими кування та відпалу для сталі Х12Ф1[5]

Сталь	Інтервал температур кування, °C	Режим відпалу	Твердість після відпалу HB, МПа не більше
X12Ф1	1140 - 850°C, повільне охолодження	Нагрів до 850...870°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	2550

		повітрі	
--	--	---------	--

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 розділяються 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 трохи менше 0,15 – 0,40%. Введення марганцю як технологічної домішки в таких кількостях необхідно для виведення сірки із сульфід 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 елементи 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 сульфід заліза й марганцю, частково в сульфід легувальних елементів. Із підвищенням температури, сірка розчиняється в α - і γ -залізі, хоча й незначно, але до 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 анізотропію її властивостей в напрямках поперек та уздовж прокатки. Розчинність фосфору в α - і γ -залізі

значно вище, ніж вміст фосфору в сталі як домішки. Тому він у сталі повністю перебуває у твердому розчині.

При підвищенні вмісту вуглецю полегшується перехід сталі в холодноламкий стан. Вважається, що кожна 0,1 % C підвищує температуру порогу холодноламкості приблизно на 20 °C і розширює перехідний інтервал від в'язкого до крихкого стану.

Із збільшенням вмісту вуглецю в сталі знижується густина, електроопору і коерцитивної сили, знижуються теплопровідність, залишкова індукція і магнітна проникність.

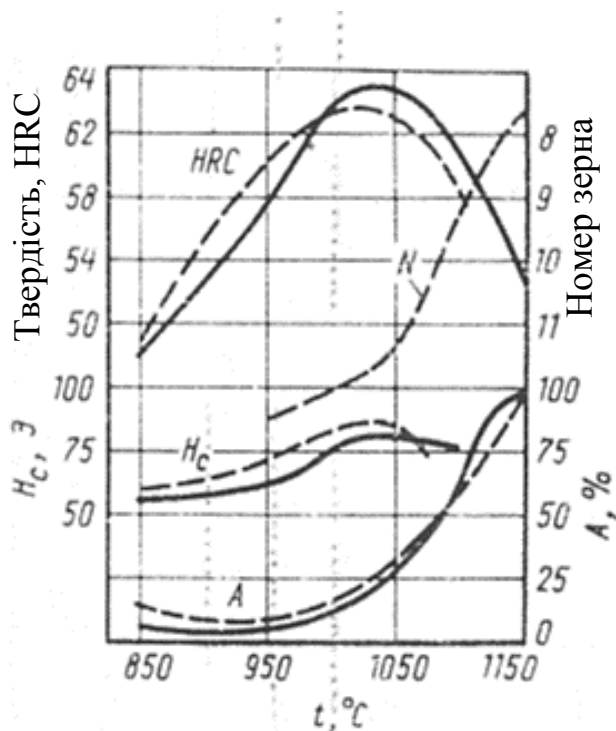
Хром є легувальним елементом, в цій сталі він знаходиться в кількості 11,0...12,5 %. В залежності від кількості вуглецю та хрому в сталі можуть утворюватися цементит легований хромом та спеціальні карбіди Me_7C_3 та $Me_{23}C_6$. Хром може суттєво змінювати температуру розчинення спеціальних карбідів і збільшувати легованість твердого розчину за умови перебування у складі спеціальних карбідів.

Збільшення вмісту хрому та інших легувальних елементів в аустеніті позитивно впливає на прогартуваність, а після гартування – на схильність до дисперсійного твердіння та теплостійкість. Оскільки сталь є комплексно легованою, то хром сприяє дисперсійному твердінню при високотемпературному відпусканні загартованої сталі.

До недоліків сталей з таким вмістом хрому відноситься різко виражена карбідна неоднорідність та підвищена стійкість до коагуляції карбідів (вище 2-3% Cr), яка сприяє зміцненню сталей при нагріві.

Ванадій присутній у карбіді VC та твердому розчині. Він підвищує чутливість сталі до перегріву. Вплив ванадію та механічні властивості неоднозначний. При вмісті до 1,0% ванадій підвищує міцність і пластичність високовуглецевих сталей.

На властивості матеріалу також впливає його термообробка. Сталь X12Ф1 гартують з температур 1030...1050°C. Перевищення цих температур призводить до інтенсивного росту зерна аустеніту, збільшенню кількості залишкового аустеніту та зниженню твердості (рис.3.1, табл.3.4).



----- — охолодження на повітрі;

————— — охолодження у маслі

Рисунок 3.1 –Вплив температури гартування на твердість, величину зерна аустеніту, коерцитивну силу і кількість залишкового аустеніту в сталі X12Ф1

Таблиця 3.4 – Вплив температури гартування на твердість та величину зерна аустеніту сталі X12Ф1.

Сталь, (рекомендована температура гартування)	Температура гартування, $^{\circ}\text{C}$	HRC	Бал зерна
X12Ф1 (1030 - 1050 $^{\circ}\text{C}$)	880	57,5	-
	930	65	12
	980	65	10
	1030	57	10
	1100	50	9

Зміна твердості після гартування характеризується кривими з яскраво вираженим максимумом. Збільшення зерна в сталі при збільшенні температури обумовлено розчиненням карбідної фази, яка розташовувалася по межах зерен та стримувала ріст зерен. Також це призводить до підвищення кількості залишкового аустеніту, що супроводжується зменшенням твердості та міцності. На кривих зміни коерцитивної сили також спостерігається максимум, який за температурою відповідає оптимальній температурі для гартування.

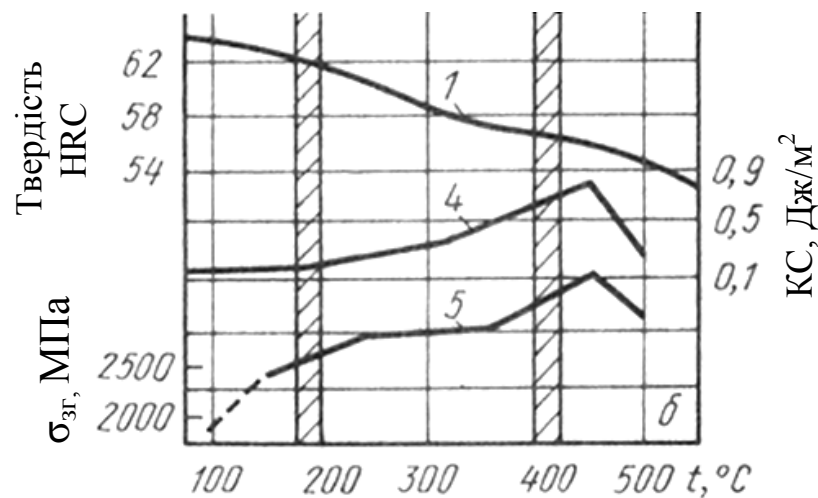
Також на остаточні показники властивостей сталі впливає температура відпуску (табл. 3.5). Температуру відпуску обирають враховуючи умови отримання максимальної міцності і ударної в'язкості, і вона не повинна бути настільки високою, щоб призвести до розпаду залишкового аустеніту і коагуляції карбідів, які виділяються та сприяють зниженню ударної в'язкості (рис.3.2).

Таблиця 3.5 – Вплив температури відпуску після гартування від оптимальних температур на механічні властивості сталі Х12Ф1

Сталь (рекомендована температура гартування, твердість)	Температура відпуску, °С	HRC	$\sigma_{зг}$, МПа	КС, Дж/см ² (ненадрізаний зразок)
Х12Ф1 (1040 °С; HRC 63)	150	63	2450	25
	200	61,5	2500	25
	250	60	2550	25
	300	59	2580	30
	350	58,5	2600	35
	400	58	2850	65
	450	57,5	3100	45
	500	57,5	3000	35

	600	49	—	—
--	-----	----	---	---

Стійкість сталі проти відпуску висока: після нагріву до температур 400 – 500°C твердість зберігається на рівні 55...57 HRC. При цьому збільшуються показники ударної в'язкості і міцності при згині. Подальше підвищення температури відпуску супроводжується зниженням ударної в'язкості і міцності внаслідок розпаду залишкового аустеніту і коагуляції карбідів.



1 – твердість; 4 – ударна в'язкість; 5 – міцність при згині

Рисунок 3.2 – Схема вибору температур нагріву для відпуску сталі X12Ф1 (заштриховані оптимальні температури нагріву)

Розглянемо ізотермічну діаграму перетворення аустеніту сталі X12Ф1 (рис.3.3). Визначено, що мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту складає при температурі 680°C, $\tau = 3$ хв. А в бейнітній області – при температурі 300°C, $\tau = 3$ год.

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

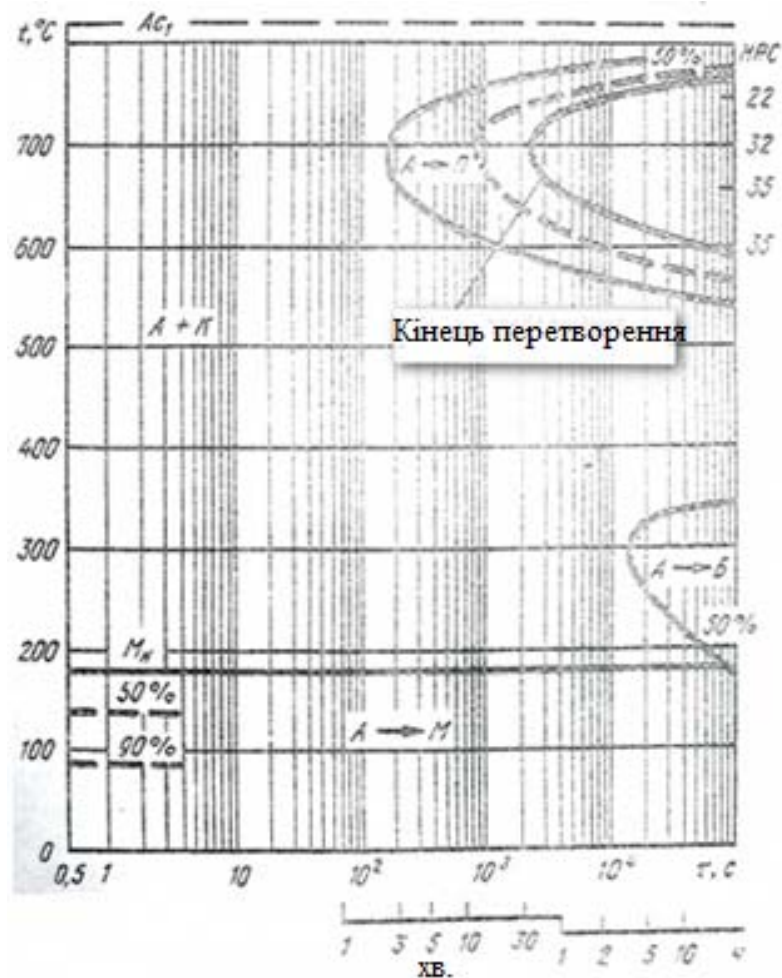


Рисунок 3.3 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту сталі X12Φ1[7]

Розрахуємо критичну швидкість охолодження:

Всі легувальні елементи збільшують стійкість переохолодженого аустеніту в області перлітної бейнітного перетворень і на діаграмі ізотермічного розпаду зсуваються вправо, тобто у бік більшої тривалості витримки. Причина високої стійкості переохолодженого аустеніту в області перлітного перетворення легованої сталі полягає в тому, що в результаті впливу легувальних елементів гальмується $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення одразу утворюються спеціальні карбіди. Для отримання такої структури повинен пройти дифузійний

перерозподіл не тільки вуглецю, але і 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 їх фізичних властивостей. Термообробка у звичайному змісті цього терміну проводиться при температурах, нижчих точки плавлення. Зміни фізичних властивостей, викликані внаслідок проведення термічного оброблення, обумовлені змінами внутрішньої структури й хімічних співвідношень, що відбуваються у твердому матеріалі. Цикли термічної обробки являють собою різні комбінації нагрівання, витримування при певній температурі й швидкого або повільного охолодження, що відповідають тим структурним і хімічним змінам, які потрібно викликати.

Вибір основних та допоміжних операцій технологічного процесу.

Термічна обробка буває 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 X12Ф1 в стані постачання має структуру перліту з карбідами. Механічна обробка різанням сталі з такою структурою дуже ускладнена. Тому сталь піддають попередній термічній обробці[4].

Для заготовки зі сталі X12Ф1 попередня термічна обробка уявляє собою ізотермічний відпал. Відпал складається із нагрівання до певної температури, витримки й повільного охолодження з піччю для отриманнярівноважної, менш твердої структури, з відсутніми залишковими напруженнями [6].

Перевагами ізотермічного відпалує скорочення тривалості процесу відпалу для легованих сталей, які при повному відпалі доводиться досить повільно охолоджувати із піччю, а також утворення більш однорідної перлітної структури вусьому 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 температури точки 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. Після такої обробки структура сталі стає $P_{\text{зерн.}}$.

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

Сталь X12Ф1 має низьку теплопровідність і для того щоб не утворилися тріщини через перепад температур у виробах з великою масою, їх 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 $1040 \pm 10^\circ\text{C}$ і гартують. Після витримки при цій температурі вироби охолоджують у маслі.

Температура для гартування обирається в залежності від властивостей які необхідно отримати. Для сталі X12Ф1 оптимальна температура для гартування становить $1040 \pm 10^\circ\text{C}$. При нагріванні до менш низьких температур не відбудеться повне розчинення карбідів і таким чином не відбудеться гомогенізація γ -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 приводить до розчинення карбідів і протіканню процесу гомогенізації аустеніту. При $1040 \pm 10^{\circ}\text{C}$ аустеніт набуває максимальної легованості, і при цьому не відбувається значного зростання зерна. При охолодженні нижче лінії M_p проходить перетворення аустеніту на мартенсит, проте він не повністю перетворюється і тому після завершення операції гарту отримується структура $M_T + A_{\text{зал}} + K$.

Після проведених операцій 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 викликати процеси розпаду залишкового аустеніту і коагуляції виділених карбідів, що сприяє 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 60...63 і структуру $M_{\text{від}} + A_{\text{зал}} + K_{II}$ [6].

До додаткових операцій можна віднести промивання виробу від масла; контроль операцій.

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 , $t = 80 \dots 95^{\circ}\text{C}$.

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

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.

Розрахунок температури та часу кожної операції технологічного процесу.

Для попередньої термообробки обираємо піч СНЗ – 6.6.4/10 – електрична камерна піч із нерухомим подом та захисним робочим середовищем. Параметри цієї печі наступні: ширина – 600 мм, довжина – 600 мм, висота – 400 мм; максимальна температура, до якої нагрівається піч, складає 1000° С [8].

Розробимо схему садки.

У даний тип печей вироби завантажуються на піддонах. Схема садки зображена на рис.5.1. Розраховуємо кількість виробів що вміщуються по ширині робочого простору печі СНЗ – 6.6.4/10:

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

де Ш- ширина робочого простору, 600мм;

d – діаметр деталі, 52мм;

Отримуємо:

$$n_{\text{ш}} = 600 / (52 + 26) \approx 7 \text{ шт.}$$

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

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

де Д- довжина робочого простору, 600мм;

d – діаметр деталі, 52мм;

$$n_{\text{д}} = 600 / (52 + 26) = 7 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{д}} = 7 \cdot 7 = 49 \text{ шт.}$$

Розраховуємо кількість виробів, які можуть бути розташовані у робочому просторі печі по висоті. Розташовуємо піддони у 2 яруси.

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} \cdot 2 = 49 \cdot 2 = 98 \text{ шт.}$$

Розрахуємо масу садки :

$$M_c = N \cdot m = 98 \cdot 0,15 = 14,7 \text{ кг.}$$

де m – маса пуансону згідно креслення, кг.

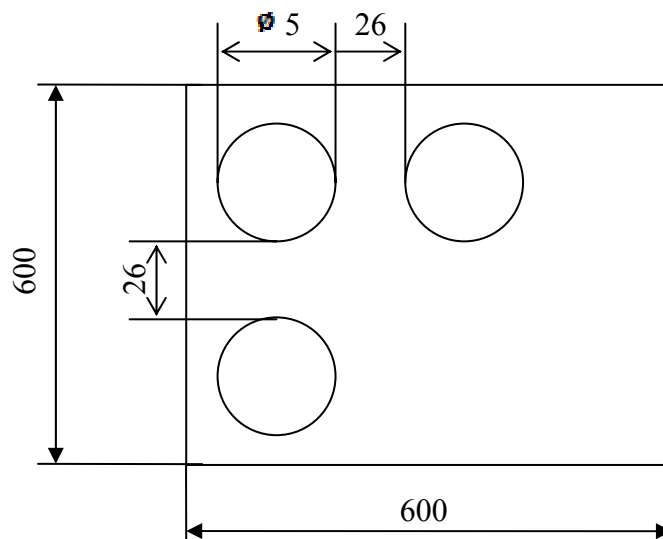


Рисунок 4.1 – Схема садки печі СНЗ – 6.6.4/10

Підігрівання виробу проводять у тій же самій печі, а саме СНЗ – 6.6.4/10, тобто схема та маса садки залишаються такими ж як і при попередній термообробці, але враховуючи те, що для проведення подальшого нагрівання під гартування ця садка повинна бути перенесена в піч СВС – 6.9.4,5/13, тому для цього схему і масу садки приймаємо такою як і для печі-ванни[8].

Гартування пуансону зі сталі Х12Ф1 проводять у електродних печах типу СВС –6.9.4,5/13[8]. Параметри цієї печі наступні: ширина – 600 мм, довжина – 900 мм, висота – 450 мм; максимальна температура, до якої нагрівається піч, складає 1300° С.

Розробимо схему садки.

В даний тип печей вироби завантажуються на піддонах. Схема садки зображена на рис. 4.2.

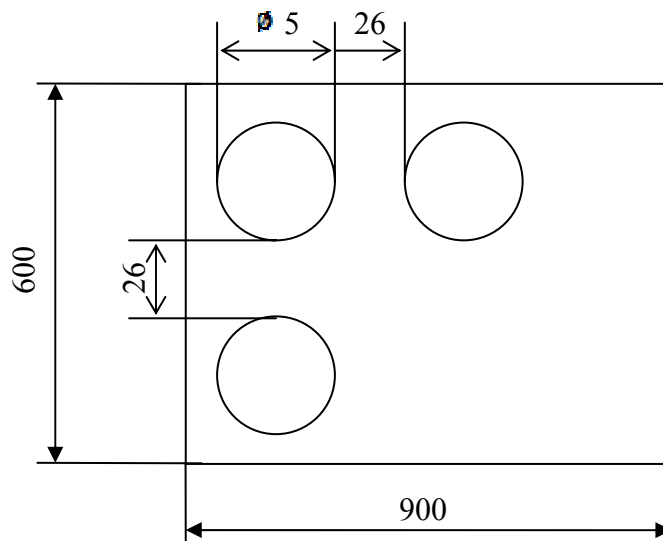


Рисунок 4.2 – Схема садки печі СВС– 6.9.4,5/13

Розраховуємо кількість виробів, що поміщуються по ширині робочого простору печі СВС – 6.9.4,5/13:

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

де Ш – ширина робочого простору, 600мм;

d – діаметр заготовки, 52мм;

$$n_{\text{ш}} = 600 / (52 + 26) = 7 \text{ шт.}$$

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

$$n_{\text{ш}} = D / (d + d/2),$$

де D - довжина робочого простору, 900мм;

d – діаметр заготовки, 52мм;

$$n_{\text{Д}} = 900 / (52 + 26) = 11 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується:

$$n_{\text{яр}} = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{Д}} = 7 \cdot 11 = 77 \text{ шт.}$$

В печі одночасно необхідно розташовувати вироби у два яруси. В такому випадку в печі одночасно розташовується кількість виробів рівна:

$$N = n_{\text{ш}} \cdot n_{\text{я}} = 77 \cdot 2 = 154 \text{ шт.}$$

Розрахуємо масу садки :

$$M_{\text{с}} = N \cdot m = 154 \cdot 0,15 = 23,1 \text{ кг,}$$

де m – маса пуансону згідно креслення, кг.

Далі для зняття залишкових напружень проводиться низькотемпературний відпуск, для якого використовується піч СВС–6.9.4,5/3. Параметри цієї печі такі самі як і для гартування, тільки змінюється максимальна температура, до якої нагрівається піч, і вона складає 300° С. Таким чином схема та маса садки зберігаються такими ж як і для гартування.

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 – 6.12.4/10.

Розрахуємо час проведення відпалу, який розраховується за формулою[9]

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{н}} + t_{\text{в1}} + t_{\text{ох1}} + t_{\text{в2}} + t_{\text{ох2}} + t_{\text{ох3}};$$

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

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

$t_{\text{ох}}$ – час охолодження до заданої температури, хв.

Швидкість нагрівання приблизно 100°C/год. Необхідно нагріти до 860°C, таким чином

$$t_{\text{н}} = (860-20)/100 = 8,4 \text{ год} = 504 \text{ хв.}$$

Час витримки при заданій температурі можна вважати таким, що отримується з розрахунку 1,5 – 2 хв./мм – для сталі Х12Ф1. Тому $t_{\text{в1}} = 14 \text{ хв.}$

Потім садку охолоджуємо з піччю до 710°C.

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

де $t_{\text{п}}$ – температура початку охолодження, °C. $t_{\text{п}} = 860 \text{ °C}$,

$t_{\text{к}}$ – температура кінця охолодження, °C. $t_{\text{к}} = 710 \text{ °C}$,

$V_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження із піччю, °C/год. $V_{\text{ох}} = 40 \text{ °C/год.}$

$$\tau_{ox1} = (850-720)/40 = 3,75 \text{ год.}$$

Витримка при цій температурі узгоджується з діаграмою ізотермічного розпаду аустеніту сталі X12Ф1 (див. рис.3.3). Як видно, щоб аустеніт повністю перетворився у перліт його необхідно витримувати приблизно 3 години, тобто $\tau_{в2} = 180 \text{ хв.}$

Далі – охолодження із піччю зі швидкістю $50^\circ\text{C}/\text{год.}$ до $550^\circ\text{C}.$

$$\tau_{ox2} = (t_{п.} - t_{к.})/V_{ох.} = (710-550)/50 = 3,2 \text{ (год.)}.$$

Далі – охолодження на повітрі зі швидкістю $5^\circ\text{C}/\text{с.}$

$$\tau_{ox3} = (t_{п.} - t_{к.})/V_{ох.} = (550-20)/5 = 106 \text{ (с.)} = 1,77 \text{ (хв.)} = 0,03 \text{ (год.)}.$$

Тоді

$$\tau_{заг} = 8,4 + 14/60 + 3,75 + 3 + 3,2 + 0,03 = 18,61 \text{ год.}$$

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

Для підігрівання також використовується піч СНЗ – 6.12.4/10 . Нагрівання відбувається до температури $680^\circ\text{C}.$ Швидкість нагрівання також приблизно $450^\circ\text{C}/\text{год.}$ Тоді

$$\tau_{н1} = (680-20)/450 = 1,47 \text{ год.}$$

Витримка при цій температурі обирається з довідникових матеріалів в залежності від прогартовуваності сталі і розміру заготовки, і для пуансону вирубного виготовленого зі сталі X12Ф1 витримка $\tau_{в1} = 20 \text{ хв.}$

Далі вироби переносяться у піч СВС–6.9.4,5/13 де відбувається їх гартування.

Розрахуємо час проведення гартування за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н1}} + \tau_{\text{в1}} + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{охол}}$$

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

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

$\tau_{\text{охол}}$ – час охолодження виробів, 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 т.д.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарок нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L,$$

де S – характеристичний розмір виробу, мм;

k – коефіцієнт форми;

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

L – модифікований коефіцієнт легування, хв./мм.

$$L = f(c/\lambda),$$

де c – теплоємність, кДж/(кгК);

λ – теплопровідність, Вт/(мК).

Так як виріб представлений у вигляді циліндру з наскрізним отвором, то характеристичний розмір дорівнює половині товщини стінки деталі, а саме $S = 7$ мм.

Коефіцієнт форми обирається з таблиці і він дорівнює $k = 2$.

Коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання також обирається з таблиці і він дорівнює $f = 2,2$.

Модифікований коефіцієнт легування дорівнює $L = 0,27$ хв./мм.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання

$$T_n = 7 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 0,27 = 8,316 \text{ хв.}$$

Час витримки при високих температурах повинен забезпечити завершення процесу розчинення надлишкових фаз. Також тривалість витримки залежить від ступеня неоднорідності, від розмірів дендритів, складу сплавів та дифузійної рухомості елементів. t_v вибирається технологічно, з урахуванням діаграм ізотермічного розпаду з забезпеченням необхідних перетворень. Занадто великі витримки під час гартування недоцільні, так як вони малоефективні та призводять до надмірних витрат електроенергії і до невиправданого зменшення продуктивності. Підвищення температури гарту діє набагато ефективніше, ніж збільшення часу витримки.

Для визначення часу витримки при технологічній температурі необхідно звертатися до довідникової літератури, звідки визначаємо, що $T_v = 5$ хв.

Важливим параметром ТО є швидкість охолодження з температур гартування. Вона повинна бути достатньою для запобігання виділення надлишкових фаз або забезпечувати мінімальну кількість фази, що виділяється при охолодженні з достатнім ступенем пересиченості твердого розчину. Ми використовуємо охолоджувач – масло, тобто швидкість охолодження достатньо невисока.

Далі розраховуємо час, який витрачено для охолодження виробу після гартування. Цей час можна розрахувати за формулою:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / v_{\text{ох}},$$

де $\tau_{\text{охол}}$ – час витрачений на охолодження після гартування, хв..

$t_{\text{к}}$ – кінцева температура виробу, °C

$t_{\text{п}}$ – початкова температура виробу, °C

$v_{\text{ох}}$ – швидкість охолодження, °C/хв.

Швидкість охолодження в маслі становить 50°C/с. Виріб охолоджується від температури 1040°C, до кімнатної температури, тобто до 20°C. Отже:

$$\tau_{\text{охол}} = (1040 - 20) / 50 = 20,4 \text{ с} = 0,34 \text{ хв.}$$

Таким чином можна розрахувати час проведення гартування за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = 88,2 + 20 + 8,316 + 5 + 0,34 = 121,856 \text{ хв.}$$

Низькотемпературне відпускання проводять при температурі $180 \pm 5^\circ\text{C}$ в печі СВС–6.9.4,5/3. Таким чином час витрачений на відпуск розраховується за формулою:

$$\tau_{\text{відп}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{охол}}$$

де $\tau_{\text{відп.}}$ – час проведення операції відпуску, хв.;

$\tau_{\text{н}}$ – загальна тривалість нагрівання, хв.;

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

$\tau_{\text{охол}}$ – тривалість охолодження, хв.

Загальна тривалість нагрівання розраховується за тією ж формулою як і при гартуванні. Її складова саме час нагрівання розраховується за формулою, в

якій такі показники, як характеристичний розмір, коефіцієнт форми та коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої залишаються такими ж, а саме $S = 7\text{мм}$, $k = 2$, $f = 2,2$. В розрахунках замінюється лише модифікований коефіцієнт легування $L = 0,48\text{хв./мм}$.

Тоді можна розрахувати тривалість нагрівання

$$T_{\text{н}} = 7 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 0,48 = 14,784 \text{ хв.}$$

Час витримки при відпуску береться з довідникової літератури. Для пуансону зі сталі X12Ф1 цей час складає 120 хвилин.

Далі розраховуємо час який затрачено для охолодження виробу після відпуску.

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:

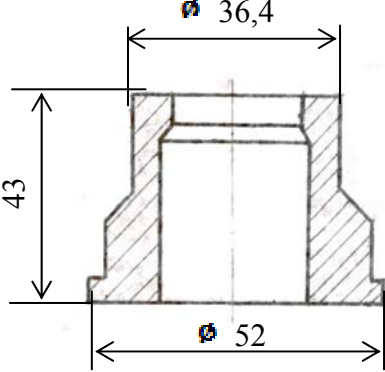
$$T_{\text{охол}} = (180 - 20)/5 = 32 \text{ хв}$$

Тоді час за який проводиться операція відпуску розраховується за формулою:

$$T_{\text{заг}} = 14,784 + 120 + 32 = 166,784 \text{ хв.}$$

Наведемо карту технологічного процесу термічної обробки пуансона вирубного для отримання шестерень з низьковуглецевих сталей (табл. 4.1), а графік термічної обробки інструменту зі сталі X12Ф1 представлений на рисунку 4.3.

Таблиця 4.1 – Карта технологічного процесу термічної обробки пуансона
вирубного для отримання шестерень з низьковуглецевої сталі

Ескіз виробу			Технічні вимоги до матеріалу			
			Матеріал	Властивості	Структура	
			Сталь X12Φ1	$\sigma_{\text{зг}} \geq 2400 \text{ МПа}$, $\text{HRC} = 60 \dots 63$, $\text{КС} \geq 25 \text{ Дж/см}^2$, $P = 1500 \dots 1700 \text{ МПа}$	Структура $M_{\text{від}} + A$	
N п/п	Операція	Обладнання (прилади)	Умови нагрівання	Умови охолодження	Назва пристосування, кількість виробів	Умови обробки контролю
1	Контроль вхідний	Стилоскоп, вимірювальні інструменти	—	—	—	3% від 100% - поверхні розміру
2	Ізотермічний відпал	СНЗ– 6.12.4/10	$t_{\text{н}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}} = 860^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{н}} = 8,4 \text{ год}$ ендогаз	—	Піддони, n=630шт.	Контроль температури, тривалість нагріву, садка, середо
2.1	Нагрівання					
2.2	Витримка		$t = 860 \pm 10^{\circ}\text{C}$ $\tau = 14 \text{ хв}$ ендогаз	—		Контроль температури, тривалість витримки, захи, середо
2.3	Охолодження до ізотермічної витримки		—	$t_{\text{н}} = 860^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{к}} = 710^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ох}} = 3,75 \text{ год}$.		Контроль температури, тривалість охолодження, садка з середо
2.4	Витримка		$t = 710 \pm 10^{\circ}\text{C}$,	—		Контроль тем-р

	ізотермічна		$\tau_{\text{в}} = 3 \text{ год.}$			тривал захи середов
--	-------------	--	------------------------------------	--	--	---------------------------

Продовження таблиці 4.1

2.5	Охолодження	CHЗ – 6.12.4/10	–	$t_n=710\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_{ox}=3,2\text{ год.}$ Із піччю	Піддони, n=630шт.	Контроль температури охолодження, з
2.6	Охолодження	Стіл	–	$t_n=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, повітря $\tau_{ox}=1,77\text{ хв}$		Контролюється тривалість
3	Контроль	Твердомір типу ТШ, мікроскоп.	–	–	–	Контролюється твердість
4	Гартування	CHЗ – 6.12.4/10	$t_n=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=680\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_n\approx 1,47\text{ год.}$	–	Піддони, n=154 шт.	Контроль температури
4.1	Підігрівання					
4.2	Витримка	CHЗ – 6.12.4/10	$t_b=680\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_b\approx 20\text{ хв.}$	–		Контроль температури са
4.3	Нагрівання	CBC – 6.9.4,5/13	$t_n=680\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k=1050\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_n=8,3\pm 0,5\text{ хв}$ 78%BaCl ₂ ,22%NaCl	–		Контролюється тривалість
4.4	Витримка	CBC – 6.9.4,5/13	$t_b=1050\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau\approx 5\text{ хв}$ 78%BaCl ₂ ,22%NaCl	–		Контроль температури витрим
4.5	Охолодження	–	–	Масло, $t\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_{ox}=0,34\text{ хв}$		Контролюється тривалість охолодження середовища
5	Промивання	Мийна машина	$t=70-90\text{ }^{\circ}\text{C}$		Корзина	10% сода
6	Контроль поточний (мікроструктура: М _{гарт} + А _{зал} + К _п)	ТШ, металографічний мікроскоп МІМ-7	–	–	–	Контроль твердості з

Кінець таблиці 4.1

7	Низький відпуск:					
7.1	Нагрівання	СВС – 6.9.4,5/3	$t_n = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_k = 180 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_n = 14,8 \pm 2\text{ хв}$ 50%KNO ₃ +50%NaNO ₂	–	Піддони, n=154шт.	Контролюється температура та тривалість нагрівання, садка.
7.2	Витримка	–	$t = 180 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_b = 120 \pm 5\text{ хв.}$ 50%KNO ₃ +50%NaNO ₂	–	Піддони, n=154шт	Контролюється температура та тривалість витримки, садка.
7.3	Охолодження	–	–	Повітря $t_{\text{ох}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ох}} = 32\text{ хв}$		Контролюється температура та тривалість охолодження, садка.
8.	Очищення	Гідрострумінна камера	–	–	–	100%
9	Контроль вихідний	металографічний мікроскоп МІМ-7, УВМ-10, копер.	–	–	–	Контролюються: $\sigma_{\text{зг}} \geq 2400\text{ МПа}$, HRC= 60...63, КС ≥ 25 Дж/см ² , Р=1500...1700 МПа

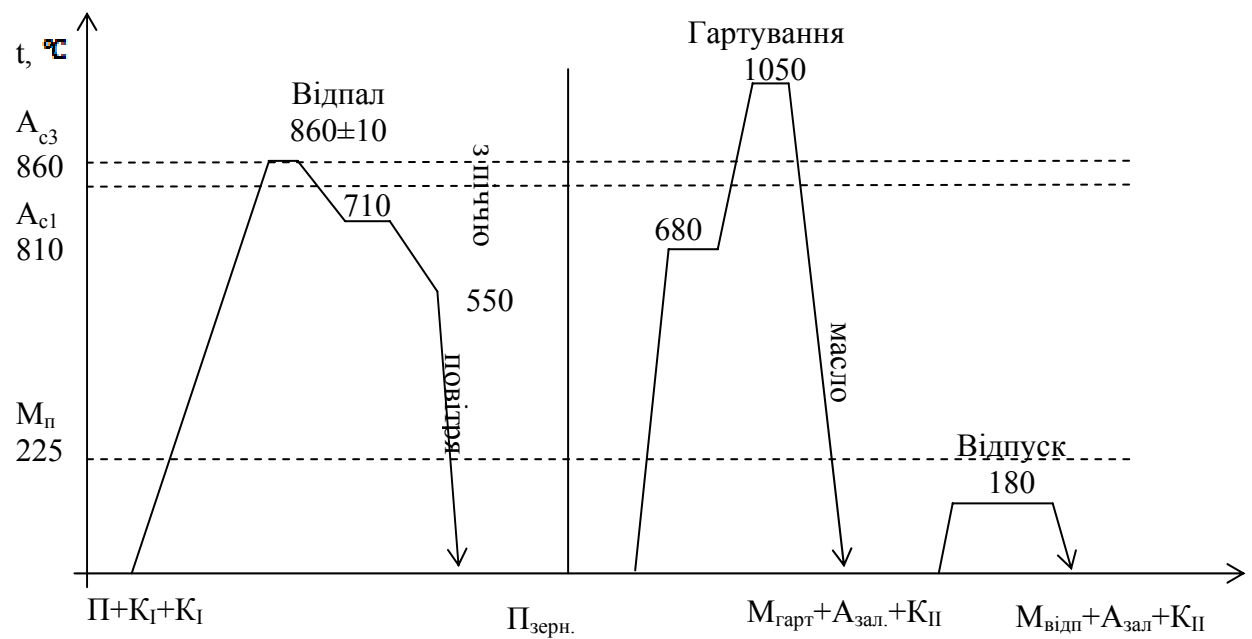


Рисунок 4.3 – Графік термічної обробки пуансону вирубного
виготовленого зі сталі Х12Ф1

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ БРАКУ

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 і ваннах з заданою точністю; точне дотримання тривалості операцій при нагріванні й охолодженні інструменту; періодичне контролювання хімічного складу контрольованих атмосфер, а також соляних і лужних складових ванн; забезпечення своєчасного очищення й розкислення соляних нагрівальних ванн; попередній контроль окремих параметрів інструменту[10].

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 інструмента після термічної обробки є: 1) візуальний контроль для виявлення тріщин, оплавлення кромки інструмента та інших поверхневих дефектів(100%); 2) визначення твердості

інструмента; 3)Контроль мікроструктури на якість відпуску в кількості 2-3% від садки.

При якісно розробленій технології термічної обробки та відповідному здійсненні цієї обробки, не повинно виникати відхилень від технічних вимог до виробу. Проте, у виробництві нерідко виникають випадки, коли технолог вимушений з'ясовувати 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.

Невиправні дефекти – дефекти, які не дозволяють отримувати задовільну поверхню. Заготовки із такими дефектами утилізуються (переплавляються).

В таблиці 5.1 наведені види дефектів при ТО пуансону вирубного зі сталі Х12Ф1 [10].

Таблиця 5.1 – Види дефектів при ТО пуансону вирубного зі сталі Х12Ф1

№	Вид дефекту	Причина появи	Заходи по запобіганню	Заходи по усуненню
1	2	3	4	5
Відпал ізотермічний				
1.	Крупнозернистість (перегрів)	1.Нагрів до температур вище оптимальних; 2.Тривала витримка;	1.,2. Дотримання температури та часу обробки;	1.,2. Повторний відпал;
2.	Завищена твердість	1.Завищена швидкість охолодження при ізотермічному відпалі;	1.Дотримуватися оптимальних швидкостей охолодження;	1. Повторний відпал за оптимальним режимом;

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2	Завищена твердість	2.Занижена температура ізотермічної витримки при ізотермічному відпалі. 3.Занижений час при ізотермічному відпалі;	2.Дотримання оптимальної температури. 3.Дотримання оптимального часу;	2.,3. Повторний відпал за оптимальним режимом;
3.	Занижена твердість	1.Зневуглицювання 2.Завищена температура ізотермічної витримки при перетворенні аустеніту на ферито-карбідну суміш	1. Нагрів в захисній атмосфері; 2.Зниження температури ізотермічного перетворення.	1.Дефект невинправний; 2. Проведення відпалу зараціональнимрежимом.
4.	Висока твердість	1.Недотримання температури, часу та швидкості охолодження;	1.Дотримання заданих температур і часу;	1.Повторний відпал, з правильно підібраними температурами;
Гартування				
1.	Тріщина	1.Неметалеві включення та інші концентратори напружень;	1.Проведення термічної обробки матеріалів виробів із грубими неметалевими включеннями;	Дефект невинправний;

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
1.	Тріщина	2.Завищена швидкість охолодження при гартуванні; 3.Завищена швидкість нагрівання; 4.Завищені температура гартування;	2.Використання оптимального гартівного середовища; сходинокове гартування в селітрових та лужних ваннах з температурою 400-550°C. 3.Сходинокове нагрівання із регламентованою швидкістю; 4.Дотримання оптимальної температури гарту, сходинокове охолодження;	Дефект не виправний.
2	Неоднорідність структури за перерізом	1.Невідповідний охолоджувач 2. Використання сталі із пониженою прогартованістю	1.Використання відповідного гартівника 2.Узгодження марки сталі із розмірами виробу або використовувати за можливістю гартівника з більш високою інтенсивністю охолодження.	1.Високотемпературний відпуск або повний відпал 2.Високотемпературний відпуск або повний відпал із повторним гартуванням з більш швидким охолодженням

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
3.	Понижена твердість	1.Занижена температура гарту; 2.Занижений час витримки при раціональних температурах; 3.Велика кількість аустеніту залишкового (підвищені температури гарту); 4.Знеуглецювання; 5.охолодження зі швидкістю менше критичної;	1.,2. Термічна обробка із дотриманням раціональної температури та часу; 3.Дотримання раціональної температури гартування; 4.проведення гартування в розплаві солей;захисному середовищі;вакуумі; 5.проведення охолодження у відповідному середовищі зі швидкістю вище критичної;	1.,2. відпал та гарт за раціональним режимом; 3.Обробка холодом; 4.відпал, науглецювання реставраційне та повторний гарт в раціональному середовищі; 5. Відпал і повторний гарт.
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;
5.	Короблення	1.Нераціональне розташування виробів в садці; 2.використання невідповідного гартівного середовища;	1.дотримання схеми садки при її формуванні 2.гарт у відповідному середовищі;	1.,2.Необхідно використовувати гарт в заневоленому стані;

Кінець таблиці 5.1

Відпуск				
1	2	3	4	5
1.	Крихкість	1.Понижена температура відпуску та підвищена твердість, понижений час оброблення.	1. Дотримання технологічних параметрів.	1. Проведення повторного відпуску за параметрами, передбаченими технологічною картою.
2.	Понижена твердість	1.Завищені температури та тривалість відпуску. 2. Підвищена кількість $A_{\text{зал}}$.	1. Дотримання технології. 2. Дотримання технології	1.Повторне ТО 2. а)Обробка холодом; б)Додатковий відпуск.

Кінцевий контроль термічного оброблення виробу.

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. Крім того, перевіряють твердість, а також відсутність тріщин.Вибірково (2-3% деталей від партії) перевіряють мікроструктуру після відпуску, кількість аустеніту залишкового, розмір.

6 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Для обраної сталі X12Ф1, що має у складі 12% хрому, характерним є неоднорідний розподіл карбідів у перетині. Ця неоднорідність підвищується із збільшенням перетину поковки або виливка, а також вмісту хрому та вуглецю. Внаслідок цього, у великих перетинах, більших за 40 – 50мм, комплекс механічних властивостей дещо гірший.

Наявність легувальних елементів у сталі сильно впливає на її поведінку при термічній обробці, на її структуру і твердість. На рисунку 6.1 показано вплив різних легувальних елементів на кількість залишкового аустеніту в загартованій сталі.

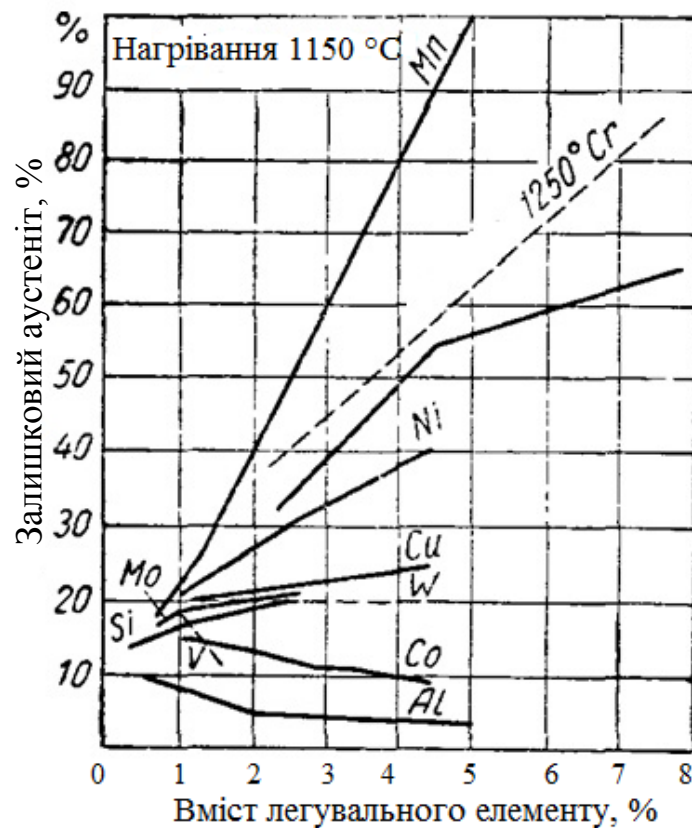


Рисунок 6.1 – Вплив легувальних елементів на кількість залишкового аустеніту в сталях [5]

Хром та ванадій є основними легувальними елементами сталі X12Ф1, і найбільше на кількість утворення аустеніту залишкового впливає саме хром. При вмісті сталі 12% марганцю після гартування у ній може бути 100% аустеніту. Інші елементи в малих кількостях також впливають на відсоток залишкового аустеніту, хоча цей вплив незначно змінюється зі зростанням вмісту легувального елемента [5].

Основні легувальні елементи утворюють з вуглецем спеціальні карбіди типу M_7C_3 та $M_{23}C_6$, які при нагріванні до температур аустенізації розчиняються у твердому розчині, тому концентрація вуглецю та хрому в ньому сильно підвищується, як було показано на рис. 3.1. Це призводить до дуже сильного зниження температур ліній початку та кінця мартенситного перетворення і, як наслідок, підвищення кількості аустеніту залишкового (рис.6.2).



Рисунок 6.2 – Температура початку та кінця мартенситного перетворення в сталі X12Ф1 залежно від температури гартування [6]

З'ясовано, що при температурах нагрівання, які забезпечують отримання невисоких показників твердості в сталі зберігається дрібнозерниста структура. При гартуванні з більш високих температур твердість сталі знижується

внаслідок утворення більшої кількості залишкового аустеніту. Показники міцності також знижуються внаслідок зростання розмірів зерна (рис.6.3). Проте, при відпусканні сталі, яка пройшла гартування з підвищених температур, зростають твердість, стійкість проти нагрівання, і як наслідок підвищення можливих температур експлуатації.

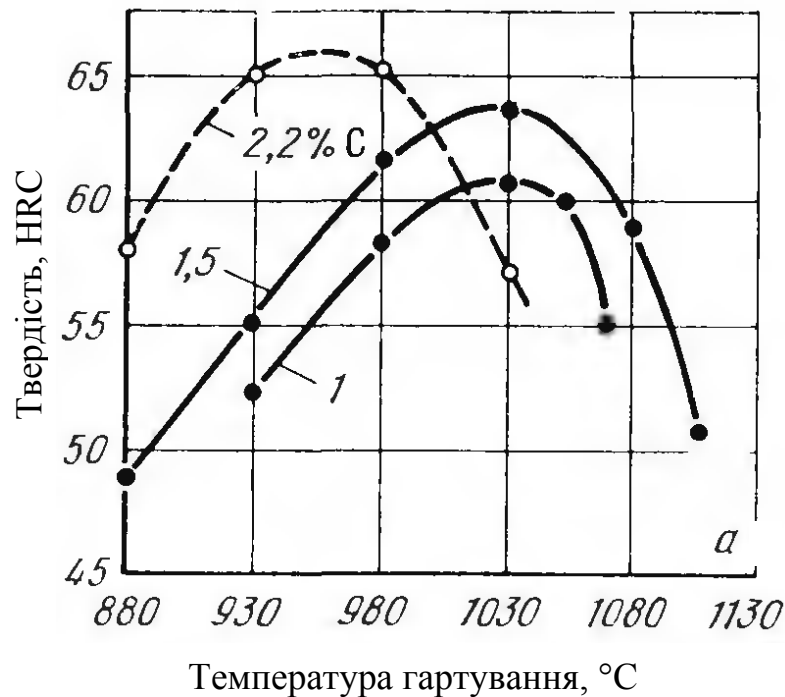
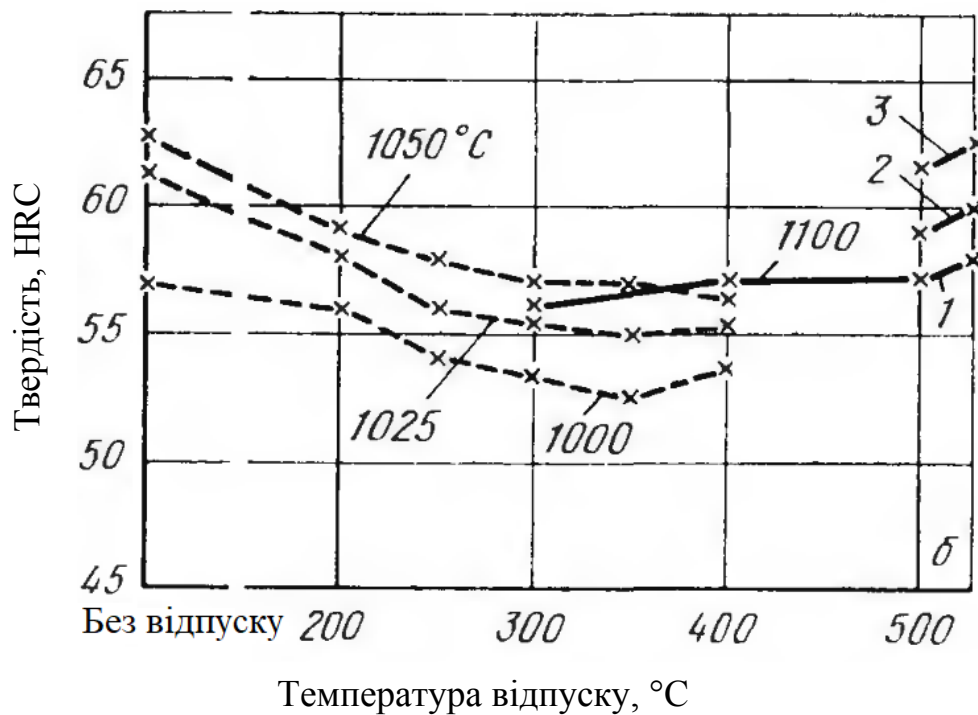


Рисунок 6.3 – Твердість сталі X12Ф1 залежно від температури гартування[6]

Проведення гартування на вторинну твердість полягає у нагріванні до температур 1150...1170°C з охолодженням у маслі або селітрі. При цьому кількість залишкового аустеніту після гарту складає 35...45%, що значно знижує показник твердості, який отримується на рівні 50HRC. Далі проводять високотемпературне відпускання при 520...540°C 2 – 4 рази, в процесі якого залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит. Після проведення такої обробки аустеніту залишкового в структурі майже не залишається. Твердість отримуємо на рівні 60...63 HRC[12].



1, 2, 3 – одно-, дво- та триразовий відпуск відповідно

Рисунок 6.5 – Твердість сталі X12Ф1, залежно від температури гартування та відпуску [6]

Чим більший відсоток залишкового аустеніту в загартованій сталі, тим гірші механічні властивості інструменту під час експлуатації, а саме твердість та міцність. Тому, для підвищення міцності після гартування також можна проводити обробку холодом. Цей метод полягає у охолодженні деталей після гартування, як на первинну так і на вторинну твердість, за низьких температур, які сягають $-60 \dots -80^\circ\text{C}$ (рис. 6.6). Така обробка дозволяє досягти лінії кінця мартенситного перетворення, тим самим завершити його, максимально перетворивши залишковий аустеніт структури на мартенсит. Це сприятиме покращенню зносостійкості та механічних властивостей, зокрема твердості. Тривала витримка при температурі значно нижчій лінії кінця мартенситного перетворення призводить до утворення при подальшому відпуску сталі великої кількості дуже дрібних частинок η -карбіду, що також сприяє покращенню експлуатаційних властивостей сталі. Ефект від обробки

холодом залежить від кількості залишкового аустеніту в загартованій сталі і зростає зі зниженням точки кінця мартенситного перетворення [6]. Із застосуванням криогенної обробки після гартування на вторинну твердість можна скоротити кількість операцій відпуску до одного, причому достатньо проведення низькотемпературного відпуску для зняття внутрішніх напружень при $160 \dots 180^\circ\text{C}$. Мікроструктура сталі X12Ф1 після обробки холодом наведено на рисунку 6.7.

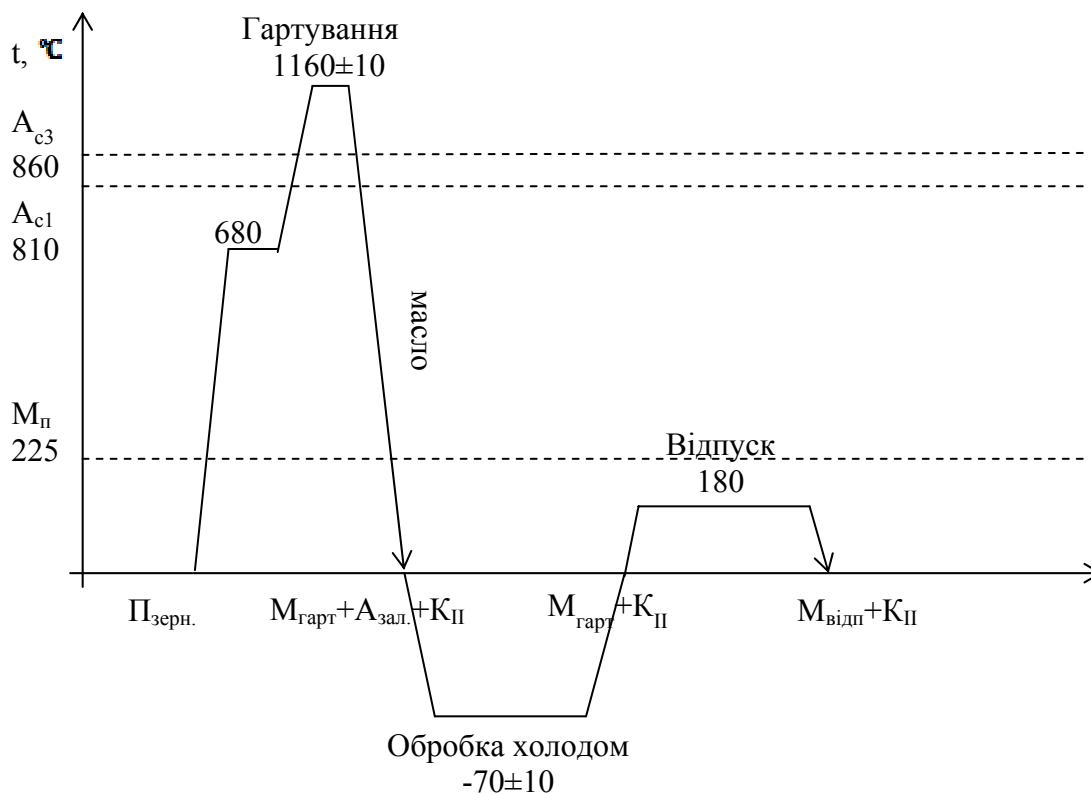
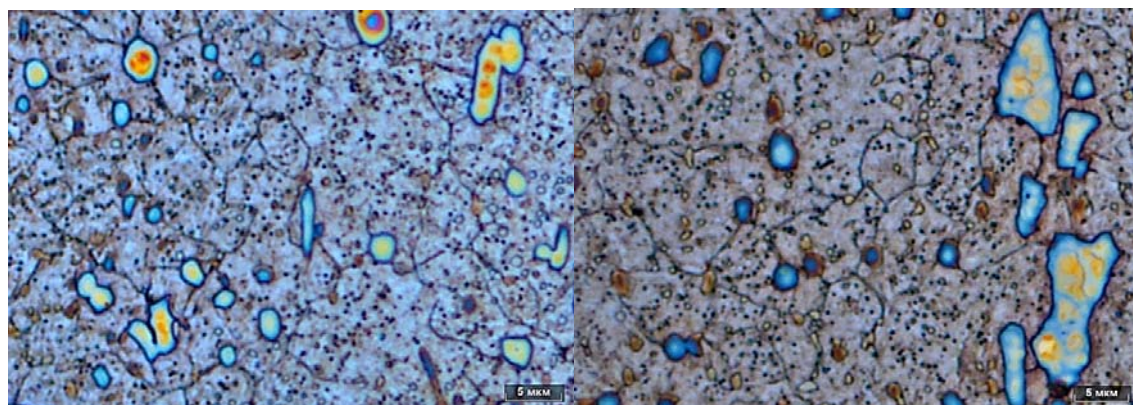


Рисунок 6.6 – Графік режиму термічної обробки сталі X12Ф1 з обробкою холодом

При аналізі зображень мікроструктури сталі X12Ф1 після обробки холодом та без неї видно, що карбіди легувальних елементів розподілені більш рівномірно по площі, а їх розмір менший. При криогенній обробці відбувається розпад аустеніту залишкового, внаслідок чого відбувається виділення додаткових об'ємів карбідних частинок.



а)

б)

а – після кріогенної обробки; б – після традиційної обробки

Рисунок 6.7 – Мікроструктура сталі X12Ф1 після термічної обробки×1000 [14]

Отже, використання альтернативних режимів термічного оброблення, а саме на вторинну твердість та обробка холодом є досить корисним для отримання високого рівня комплексу механічних властивостей.

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було розглянуто штамповий інструмент – пуансон вирубний. Штампове оснащення в процесі експлуатації перебуває під дією значних напружень. Інструмент зазнає напруження згину та стиснення. Тому матеріал для його виготовлення повинен бути високоміцним, мати високу твердість, більшу за твердість матеріалу, який штампується; бути зносостійким, мати високу в'язкість та гарну прогартовуваність. Всім цим вимогам відповідає група штампових сталей для холодної деформації, а для виготовлення шайб з вуглецевої сталі обрано сталь X12Ф1.

Було розроблено маршрутну технологію виготовлення інструменту, а також технологію його термічної обробки. Вона складається з ізотермічного відпалу при 860°C, гартування від температур 1050°C зі ступінчастим нагріванням та охолодженням у маслі, а також наступного низькотемпературного відпускання при 180 °C для зняття внутрішніх напружень.

Було наведено можливі види дефектів при проведенні термічної обробки пуансону вирубного зі сталі X12Ф1.

Використання альтернативних режимів термічного оброблення, а саме на вторинну твердість та обробка холодом є досить корисним для отримання високого рівня комплексу механічних властивостей. Це досягається внаслідок зменшення кількості залишкового аустеніту після гартування з обробкою холодом, а також проведення багаторазового високотемпературного відпускання після гартування з підвищених температур.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1.ISO 8020:2002. Tools for pressing – Punches with cylindrical head and straight or reduced shank [Electronic resource]. – Effective from 2023-06-01. – Official edition. – [S. l. : s. n.], 2002. – 10 p.<https://www.iso.org/standard/32057.html>.
2. Мойсеенко О.И. Инструментальные материалы / О.И.Мойсеенко, О.И.Чкалова – Киев: Вища школа, 1983. – 192 с.
- 3.Родін П.Р. Основи проектування різальних інструментів /П.Р. Родін. – Київ : Вища школа, 1990. – 424 с.
4. Bayer A. M.Wrought Tool Steels. In: MaterialsHandbook : 10th edn. / A. M. Bayer // – Vol. 1. ASM International. – MaterialsPark, OH, 1990. –P.1763-1839.
5. Budinski K. G. Properties and Selection.Engineering Materials. Englewood Cliffs/ K. G.Budinski, M. K. Budinski // New Jersey: Prentice-Hall – 1992 – 817 p.
6. TottenG.E. SteelHeatTreatment - MetallurgyAnd Technologies / George E. Totten // CRC Press.– 2006. – 1077 p.
7. Vander Voort G.F.Atlas ofTime-Temperature Diagramsfor Irons and Steels/ George F.Vander Voort // ASM International, 1991. – 783 p.
- 8.Будник А.Ф. Типовеобладнаннятермічнихцехів та дільниць:Навчальнийпосібник. / А.Ф. Будник – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 212 с.
9. Лазечний І.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Лазечний, О.В. Климов, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця ; Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.
10. Supura S. Defects in the Heat Treatment of Steel. Metals. Industries. Metallurgy [Electronic resource] // Engineering Notes. – Modeofaccess:<https://www.engineeringenotes.com/metallurgy/heat->

treatment/defects-in-the-heat-treatment-of-steel-metals-industries-metallurgy/20834(dateofaccess: 02.06.2023). — Titlefromscreen.

11. Greenberg J. H. Industrial Thermal Processing Equipment Handbook / J. H. Greenberg // ASM International.1994 - 400 p.

12. El Hakim M.A.Effect of secondary hardening on cutting forces, cuttingtemperature, and tool wear in hard turning of high alloy toolsteels / M.A. El Hakim, M.A. Shalaby, S.C. Veldhuis, G.K. Dosbaeva // Measurement. – 65, 2015. – P. 233 – 238.

13.Vander VoortG.F. MetallographicTechniques for Tool Steels / George Frederic Vander Voort // ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures. – 1987. – P. 644 – 669. DOI: 10.1361/asmhba0003766.

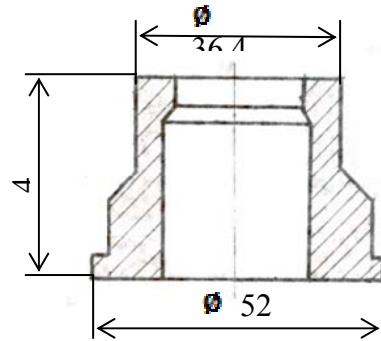
14.Mochtar M.A. Effect of tempering temperature and subzero treatment onmicrostructures, retained austenite, and hardness of AISI D2 toolsteel / Myrna AriatiMochtar, WahyuajiNarottama Putra and Martin Abram // Mater. Res. Express. – Vol.10, 2023. – 13p. DOI:10.1088/2053-1591/acd61b

ДОДАТОК А

ЕСКІЗ ІНСТРУМЕНТУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПУАНСОНУ ВИРУБНОГО

Таблиця А1 –Хімічний склад сталі Х12Ф1% (мас.)

Матеріал	C	Si	Mn	Cr	V	Ni	Cu	P	S
X12Ф1	1,25- 1,45	0,15- 0,35	0,15- 0,4	11,0 - 12,5	0,7- 0,9	≤ 0,35	≤ 0,3	≤0,03	≤0,03



Таблиця А2 – Вплив температури відпуску після гартування від оптимальних температур на механічні властивості сталі Х12Ф1

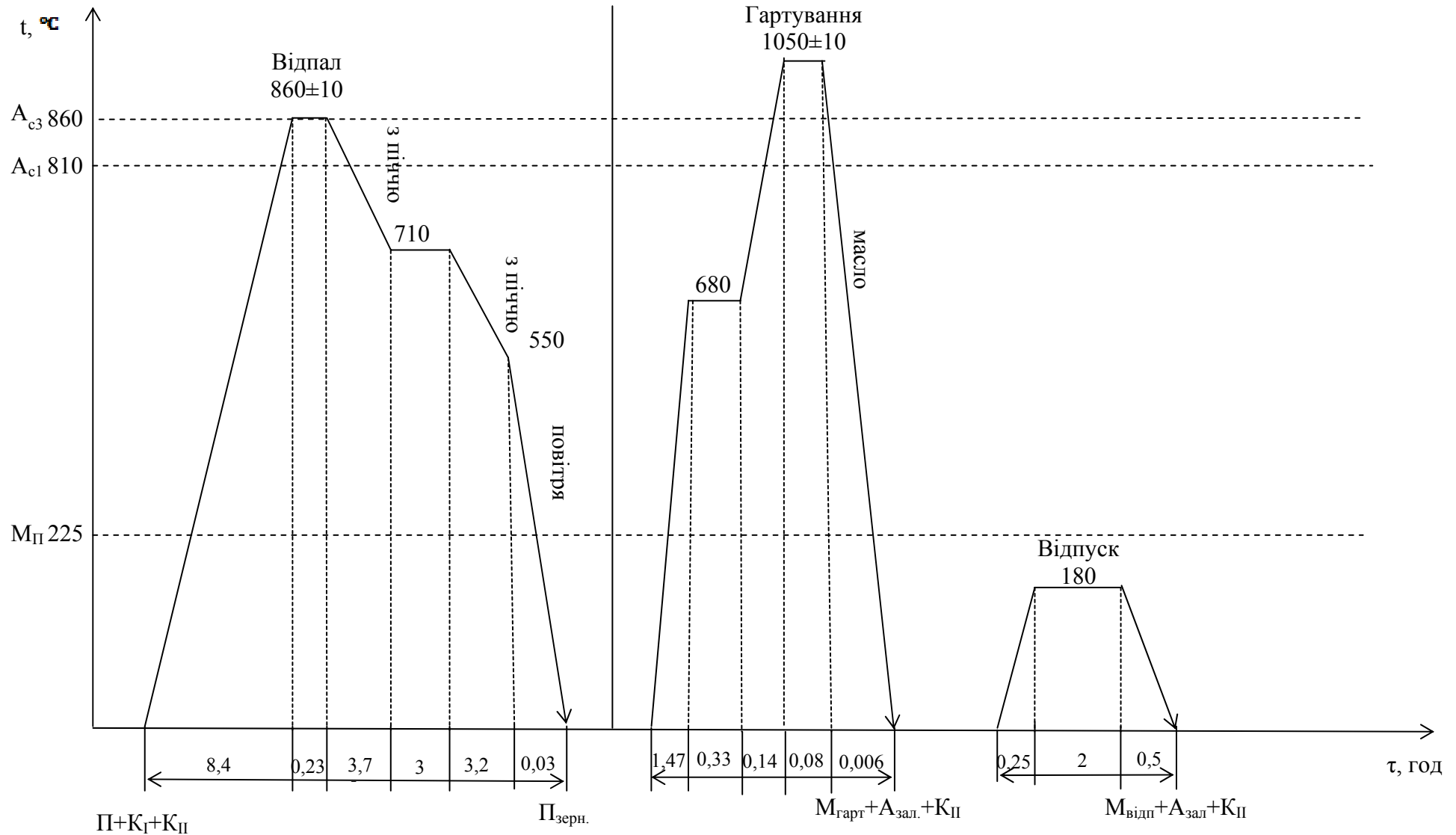
Рисунок А1 – Ескіз пуансону вирубного

Таблиця А3 – Вплив температури гартування на твердість та величину зерна аустеніту сталі Х12Ф1

Сталь, (рекомендована температура гартування)	Температура гартування, °C	HRC	Бал зерна
X12Ф1 (1030 - 1050°C)	880	57,5	-
	930	65	12
	980	65	10
	1030	57	10
	1100	50	9

Сталь (рекомендована температура гартування, твердість)	Температура відпуску, °C	HRC	σ_{zg} , МПа	КС, Дж/см ² (ненадрізаний зразок)
X12Ф1 (1040 °C; HRC 63)	150	63	2450	25
	200	61,5	2500	25
	250	60	2550	25
	300	59	2580	30
	350	58,5	2600	35
	400	58	2850	65
	450	57,5	3100	45
	500	57,5	3000	35
	600	49	—	—

ДОДАТОК Б ГРАФІК РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПУАНСОНУ ВИРУБНОГО ДЛЯ ШАЙБ З НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ



ДОДАТОК В

ТВЕРДІСТЬ СТАЛІ Х12Ф1 ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ГАРТУВАННЯ

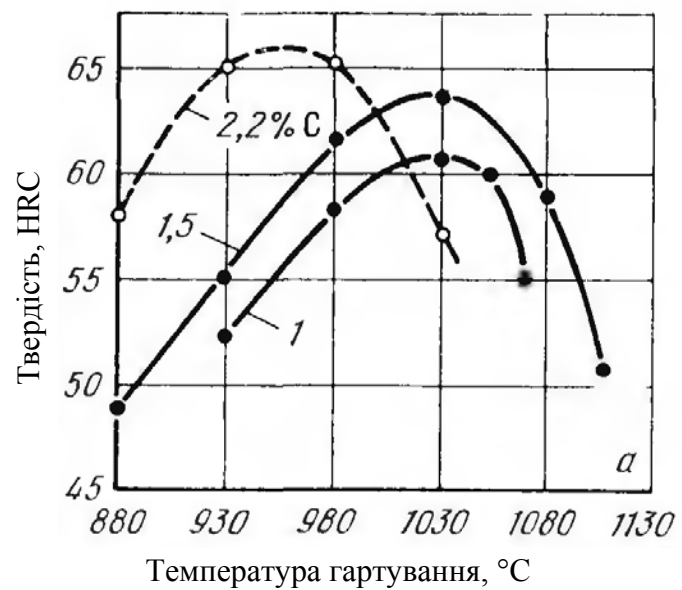
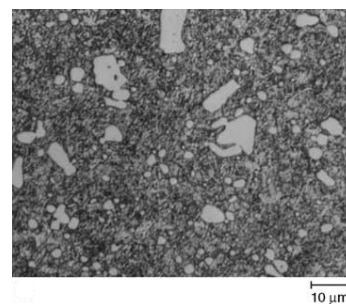
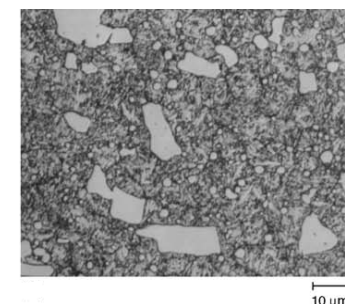


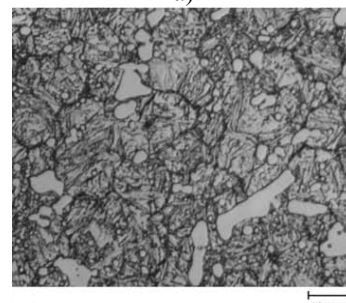
Рисунок В1 – Твердість сталі Х12Ф1 залежно від температури гартування



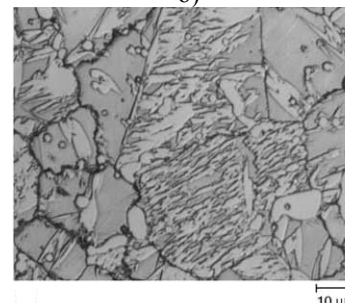
а)



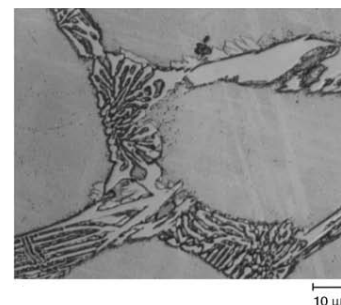
б)



в)



г)



д)

а – 1010°C; б – 1065°C; в – 1120°C; г – 1175°C; д – 1230°C

Рисунок В2 – Мікроструктура сталі Х12Ф1 при різних температурах аустенітизації, [13]

ДОДАТОК Г ТЕРМІЧНА ОБРОБКА НА ВТОРИННУ ТВЕРДІСТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБРОБКИ ХОЛОДОМ

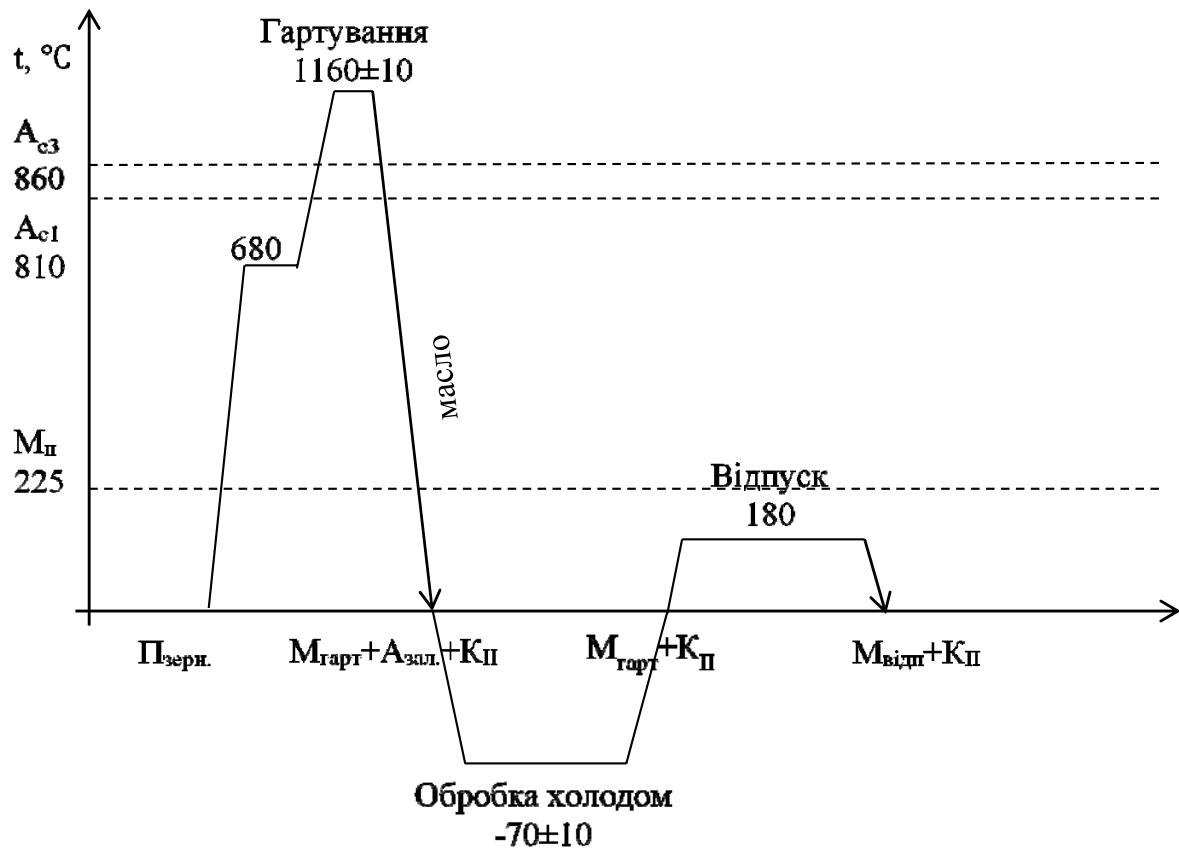
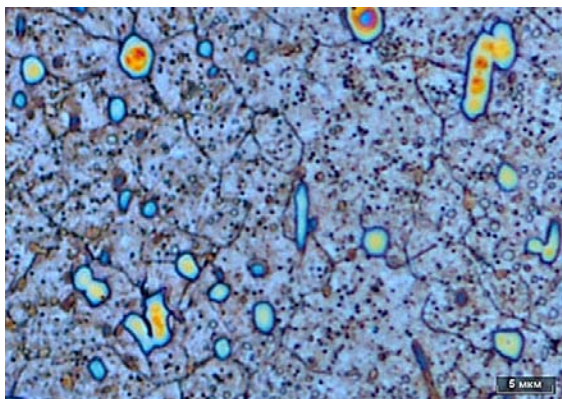
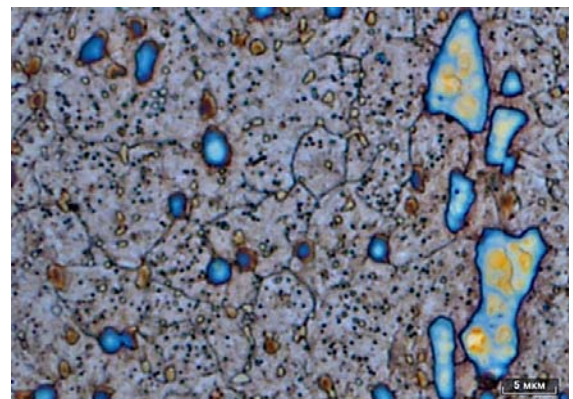


Рисунок Г1 – Графік термічної обробки пуансону вирубного зі сталі Х12Ф1 на вторинну твердість



а)



б)

а – після кріогенної обробки; б – після традиційної обробки

Рисунок Г2 – Мікроструктура сталі Х12Ф1 після термічної обробки $\times 1000$