

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу»

Виконала студентка:

Молнар Юлія Олександрівна

Залікова книжка № 20510051

Підпис _____

Керівник:

Говорун Тетяна Павлівна

Підпис _____

Співкерівник:

Яковлев Віктор Анатолійович

Підпис _____

Захищено з оцінкою

оцінка, дата

Секретар ЕК

Підпис _____ Марченко К. С.

Суми 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант Освітньої програми

«Прикладне матеріалознавство»

Харченко Н. А.

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентці Молнар Юлії Олександрівні, група МТ-91/1

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу»

2. Вихідні дані: креслення деталі та вимоги до неї вказані на кресленні (додаток А)

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу

- 1) Креслення деталі.
- 2) Графік термічної обробки деталі.
- 3) План розробленої термічної дільниці.

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1 Характеристика та умови експлуатації деталі	X			
2	Розділ 2 Огляд літератури	X			
3	Розділ 3 Характеристика матеріалу та його аналогів для виготовлення деталі. Вплив хімічних елементів на сталь та методи дослідження		X		
4	Розділ 4 Маршрутна технологія отримання деталі «матриця вирубного штампу»			X	
5	Розділ 5 Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 08.04.2024 р.

Керівник _____

(підпис)

Співкерівник _____

(підпис)

доц. Говорун Т. П.

(посада, прізвище)

асистент Яковлев В. А.

(посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 77 сторінок, зокрема 8 таблиць, 10 рисунків, список із 36 використаних джерел на 3 сторінках, 4 додатків на 9 сторінках.

Метою роботи є розробка прогресивної маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу» з легованої інструментальної сталі ХВГ для поліпшення її експлуатаційних властивостей і характеристик.

Матриця вирубного штампу є важливою деталлю в процесі масового виробництва металевих частин та виробів. Основне призначення матриці – забезпечити точність та репродукцію форми при виготовленні багатократних однакових виробів. Умови роботи включають великі тискові навантаження і багаторазове використання.

Завданнями досліджень є оптимізації маршрутної технології виготовлення і термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу» з легованої інструментальної сталі ХВГ для досягнення максимальних експлуатаційних характеристик даної деталі в умовах великих тискових навантажень і багаторазового використання.

Методи досліджень – стандартні методи дослідження механічних властивостей і структури легованої інструментальної сталі ХВГ: дослідження мікроструктури сталі з використанням металографічного мікроскопа МИМ-7 та твердоміра ТР-5006 для визначення твердості робочих поверхонь матриці.

Практичне значення результатів полягає в оптимальному виборі матеріалу, розробці прогресивної маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу» із легованої інструментальної сталі ХВГ. Отримані результати мають важливе значення для підвищення працездатності, надійності та довговічності штампових інструментів.

Ключові слова: матриця, штамп, твердість, термічна обробка, інструментальна сталь, відпал, гартування, відпуск.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.	
ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	11
1.1 Умови експлуатації матриці вирубного штампу	11
1.2 Характеристика і особливості роботи матриці вирубного штампу	12
1.3 Причини виходу з ладу матриці вирубного штампу	14
1.4 Вимоги до матеріалу для виготовлення деталі	18
Висновки.....	20
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	
2.1 Аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення й зміцнення штампового інструменту	21
2.2 Огляд літературних джерел щодо впливу матеріалу матриці на якість вирубного штампу.....	23
2.3 Аналіз літератури щодо існуючих технологій термічної обробки деталі «матриці» вирубного штампу	25
2.4 Аналіз, порівняння та синтез результатів літературних джерел.....	27
Висновки.....	29
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ТА ЙОГО АНАЛОГІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ. ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА СТАЛЬ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
3.1 Характеристика матеріалу та його аналогів для виготовлення деталі	30
3.2 Вплив хімічних елементів на характеристики і властивості сталі ХВГ	33
3.2.1 Вплив вуглецю	33
3.2.2 Вплив хрому	34
3.2.3 Вплив вольфраму	34
3.2.4 Вплив марганцю.....	35
3.3 Методи дослідження	36
3.3.1 Дослідження мікроструктури.....	36

3.3.2 Вимірювання твердості	37
Висновки.....	39
РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «МАТРИЦЯ ВИРУБНОГО ШТАМПУ».....	40
4.1 Вибір методу отримання заготовки.....	40
4.2 Розробка технологічного процесу отримання деталі «матриця вирубного штампу»	41
Висновки.....	47
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	48
5.1 Термічна обробка деталі «матриця вирубного штампу».....	48
5.2 Вибір необхідного обладнання для отримання деталі «матриця вирубного штампу»	53
5.3 Розрахунок обладнання.....	56
5.4 Планування термічної ділянки	62
Висновки.....	64
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТОК А	69
ДОДАТОК Б.....	70
ДОДАТОК В.....	76
ДОДАТОК Г	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

σ_B – межа міцності при розтягу, МПа;

δ_5 – відносне подовження при розриві, %;

ψ – відносне звуження, %;

HRC – твердість за Роквелом, шкала С;

МІМ-7 – металографічний вертикальний мікроскоп;

ТО – термічна обробка;

T - Температура, при якій отримані дані властивості, [Град];

E - Модуль пружності першого роду, [МПа];

α - Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення (діапазон 20 - T), [1/Град];

λ - Коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу), [Вт/(м·град)];

ρ - Щільність матеріалу, [кг/ м³];

C - Питома теплоємність матеріалу (діапазон 20° - T), [Дж/(кг·град)];

R - Питомий електроопір, [Ом · м].

ВСТУП

У сучасному світі безперервного технологічного прогресу виробництво деталей вимагає постійного вдосконалення та оптимізації процесів для досягнення високої якості, ефективності та економічності. Важливою складовою цього завдання є правильний вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення та технологічного процесу зміцнення деталей.

Вибір матеріалу для виготовлення деталей визначається комплексом властивостей, які повинні відповідати конкретним технічним та експлуатаційним вимогам. Це охоплює міцність, твердість, стійкість до корозії та інші фактори, що визначають придатність матеріалу для конкретного застосування. Вирішення цього завдання є важливим етапом у процесі розробки технології виробництва.

Маршрутна технологія виготовлення деталей визначає послідовність операцій та етапів, які дозволяють перетворити сировинний матеріал у готову деталь з необхідними властивостями. Ефективна технологічна схема забезпечує оптимальний баланс між якістю продукції, витратами праці та матеріалів, а також строками виробництва.

Окремою істотною складовою технології виробництва деталей, особливо таких, як матриці для вирубних штампів, є технологічний процес зміцнення. Цей процес дозволяє підвищити міцність та стійкість деталей до зношування, покращуючи їх експлуатаційні характеристики та тривалість служби [1].

Для матриць вирубного штампів застосовують інструментальні сталі: X12, ХВГ, Х12ВМ, Х12М, У10А, сталь50, 6ХВГ, 4ХМФС. Деталі з цих сталей зазвичай піддають термополіпшенню, гартуванню з високим відпуском або поверхневому гартуванню з нагрівом СВЧ і низьким відпуском або обробці висококонцентрованим джерелом енергії [1, 2].

Матриця вирубного штампів є важливою деталлю в процесі масового виробництва металевих частин та виробів. Основне призначення матриці – забезпечити точність та репродукцію форми при виготовленні багатократних однакових деталей. Умови роботи включають великі тискові навантаження і багаторазове використання [1].

Актуальність теми дослідження. В сучасній промисловості ключовими факторами успіху підприємств є висока ефективність та якість виробництва. Одним із важливих аспектів цього процесу є вибір матеріалу, розробка маршрутної технології виготовлення заготовки та термічна обробка деталей, особливо таких складних і критично важливих компонентів, як матриця вирубного штампу.

Матриця вирубного штампу є основним елементом штампувального обладнання, що застосовується у багатьох галузях промисловості для виготовлення різноманітних виробів з металу та інших матеріалів. Надійність і довговічність матриці безпосередньо впливають на продуктивність виробництва, витрати на обслуговування обладнання та якість кінцевої продукції.

Ключові аспекти актуальності:

- вибір матеріалу: правильний вибір матеріалу для матриці штампу визначає її зносостійкість, міцність і стійкість до деформацій. В умовах інтенсивної експлуатації важливо використовувати матеріали, які забезпечують тривалий термін служби матриці при мінімальних витратах на її заміну та обслуговування;

- маршрутна технологія виготовлення заготовки: Оптимізація технологічного процесу виготовлення заготовки дозволяє знизити виробничі витрати, скоротити час циклу виготовлення та покращити точність готового виробу. Це особливо важливо в умовах масового виробництва;

- термічна обробка: Процеси термічної обробки критично впливають на механічні властивості матеріалу матриці. Правильно обраний режим термічної обробки підвищує міцність, зносостійкість і довговічність деталі, що є важливим для забезпечення стабільної роботи штампу.

Таким чином тема кваліфікаційної роботи бакалавра є актуальною і має велике значення в умовах сучасного виробництва.

Метою роботи є розробка прогресивної маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу» з легованої інструментальної сталі ХВГ для поліпшення її експлуатаційних властивостей і характеристик.

Завданнями досліджень є оптимізації маршрутної технології виготовлення і термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу» з легованої інструментальної сталі ХВГ для досягнення максимальних експлуатаційних характеристик даної деталі в умовах великих тискових навантажень і багаторазового використання.

Методи досліджень – стандартні методи дослідження механічних властивостей і структури легованої інструментальної сталі ХВГ: дослідження мікроструктури сталі з використанням металографічного мікроскопа МИМ-7 та твердоміра ТР-5006 для визначення твердості робочих поверхонь матриці.

Умови роботи матриці: циклічні контактні напруги стиснення, які максимальні у кромки робочої частини, зумовлюють необхідність високих значень межі міцності матеріалу та контактної витривалості. При взаємному переміщенні пуансона і матриці в процесі вирубки діють сили тертя, що призводять до зношування внутрішньої робочої частини матриці і отже матеріал повинен бути зносостійким. Важливе значення на опір руйнування матеріалу матриці за умов експлуатації надає шорсткість поверхні, тобто мікрогеометрія, що досягається операціями абразивної обробки – шліфуванням та притиранням.

Практичне значення результатів полягає в оптимальному виборі матеріалу, розробці прогресивної маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «матриця вирубного штампу» із легованої інструментальної сталі ХВГ. Отримані результати мають важливе значення для підвищення працездатності, надійності та довговічності штампових інструментів.

Вибір матеріалу для деталі «матриця вирубного штампу» та методів дослідження є ключовим етапом у розробці ефективних та тривалих під час роботи інструментів. Обираємо сталь ХВГ, яку доцільно використовувати саме для виготовлення матриць і пуансонів вирубних штамсів, тому що вона має гарні технологічні та експлуатаційні властивості. Сталь ХВГ застосовується для виготовлення штамсів, матриць, пуансонів та інших інструментів для обробки металів за допомогою високого тиску.

Апробація результатів роботи. Тези конференції. Технологічний процес отримання деталі «матриця вирубного штампу» / Молнар Ю.О., Говорун Т. П. // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма XI Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 23–26 квітня 2024 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2024. С. 111-112.

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Умови експлуатації матриці вирубного штампу

Матриця вирубного штампу є важливою деталлю в процесі масового виробництва металевих частин та виробів. Матриця вирубного штампу використовується для формування та обробки листового металу або інших матеріалів. Вона має оптимальну форму, яка передається виробним тиском на сировину, щоб отримати необхідну геометрію деталі. Матриці вирубних штампів під час роботи відчують напруги на вигин, зріз і розрив [1].

Умови роботи матриці вирубного штампу наведено нижче [1]:

- матриці вирубного штампу працюють під великим тиском та силою. Високий тиск застосовується для формування матеріалу;
- у процесі вирубки на матрицю діють: напруга вирубки, зусилля, що розпирає, сили тертя;
- в залежності від виробничого процесу, матеріал може нагріватися для полегшення формування;
- матриці вирубних штампів при роботі відчують напругу на вигин, на розрив та на зріз;
- матриця використовується повторно при багатосерійному виробництві;
- матриці повинні працювати з високою точністю.

Важливим фактором, який впливає на функціональність матриці, є його відповідність конкретним умовам експлуатації. Виходячи з вищезазначеного можна зробити висновки, що матриця вирубного штампу повинна володіти такими експлуатаційними властивостями [1,2]:

- міцність: матеріал повинен володіти високою міцністю для витримки тиску під час формування;
- зносостійкість: здатність матеріалу витримувати знос і утримувати форму впродовж тривалого періоду;

- стійкість до корозії: якщо матриця використовується в агресивних середовищах, важлива стійкість до корозії [1,2].

Матриця вирубного штампу є важливим вузлом у виробництві, її надійність і якість безпосередньо впливають на виготовлені продукти. Вибір відповідного матеріалу та дотримання правильних умов експлуатації є ключовими факторами для забезпечення ефективності та тривалості роботи матриці в процесі масового виробництва.

1.2 Характеристика і особливості роботи матриці вирубного штампу

Матриця (Додаток А) – розділовий інструмент штампа з внутрішнім робочим контуром, що безпосередньо діє на виріб, який виготовляється, або на заготовку. Матриця є плитою, яка має отвір по середині. Цей отвір має різну конфігурацію, залежно від необхідної конфігурації отвору майбутнього виробу [1].

Матриці бувають [1]:

- прості (використовуються для деталей простої конфігурації);
- складові (використовуються для деталей складної конфігурації або для деталей великих габаритів);
- секційні.

Операція вирубку відноситься до листового штампування і полягає в оформленні зовнішнього контуру деталі. Вирубку здійснюють пуансоном та матрицею (рис. 1.1). Вирубвання є розділовою операцією [4].

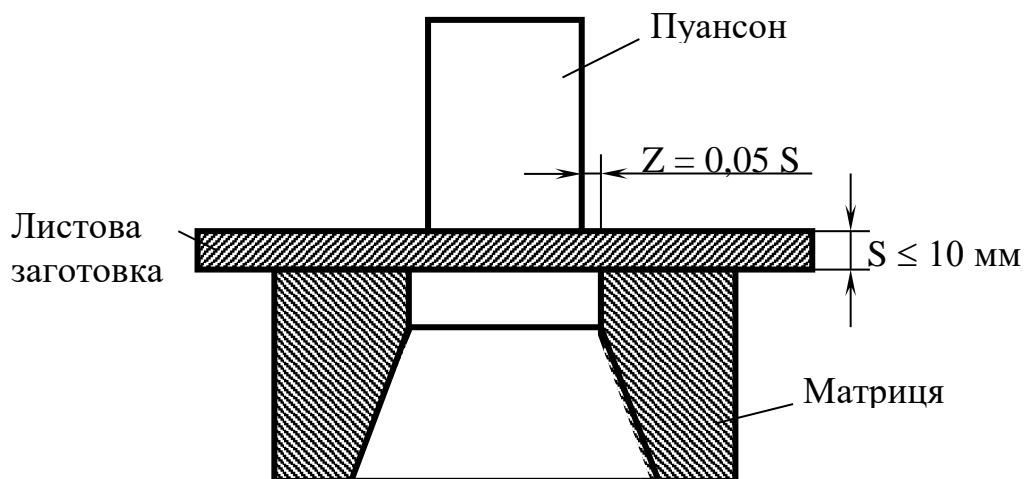


Рисунок 1.1 – Схема вирубного штампу простої дії [4]

Спочатку пуансон вичавлює частину заготовки в отвір матриці. У початковій стадії деформування відбувається врізання ріжучих кромek пуансону та матриці в заготівлю та зміщення обсягу матеріалу за рахунок пластичної деформації. При певній глибині впровадження ріжучих кромek у матеріал заготівлі у кромek (лез) зароджуються тріщини, які розвиваються в товщину заготівлі, збігаються один з одним і відбувається поділ матеріалу в зоні деформації. Якість поверхні зрізу залежить від правильно обраного зазору (Z) між ріжучими крайками пуансону та матриці. Зусилля вирубки є величиною змінною. Максимальне значення його належить початку утворення тріщин, коли матеріал заготівлі набуває максимальної пластичної деформації, тобто. наклепується; потім величина зусилля зменшується. Велику роль грає затуплення кромek, оскільки збільшується обсяг пластично деформованого матеріалу, що призводить до збільшення навантаження. У загальному випадку зусилля при розвантаженні визначається за такою формулою:

$$P_{\text{выр.}} = K \cdot L \cdot S \cdot \sigma_{\text{в.}}, \quad (1.1)$$

де K - коефіцієнт затуплення кромek;

L – периметр формованого контуру;

S – товщина вихідної заготівлі;

$\sigma_{\text{в.}}$ – межа міцності матеріалу заготівлі.

Зовнішнє зусилля може прикладатися статично або динамічно, залежно від обладнання, що використовується. Навантаження на пуансон і матрицю розподіляється нерівномірно - максимальне у ріжучих кромek. У період експлуатації штампу - багаторазового виконання операції вирубки, матеріал пуансона і матриці відчуває вплив циклічних навантажень стиску. У період вертикального зворотно поступального руху пуансона на робочі поверхні матриці і пуансона діють сили тертя, що зумовлюють їхнє зношування. Циклічні контактні навантаження можуть викликати фарбування кромek [1, 4].

Для даних умов роботи матриці вирубного штампу: матеріал, що штампується - сталь 20 ($\sigma_{\text{сп}} = 200 - 360$ МПа), товщина 0,8 мм; $z = 0,040$ мм,

$\Delta z = +0,020$ мм. z-найменший допустимий зазор (двосторонній); Δz - граничне відхилення у бік збільшення зазору (двостороннє) [4].

Умови роботи матриці: циклічні контактні напруги стиснення, які максимальні у кромки робочої частини, зумовлюють необхідність високих значень межі міцності матеріалу та контактної витривалості. При взаємному переміщенні пуансона і матриці в процесі вирубки діють сили тертя, що призводять до зношування внутрішньої робочої частини матриці і отже матеріал повинен бути зносостійким. Важливе значення на опір руйнування матеріалу матриці за умов експлуатації надає шорсткість поверхні, тобто мікрогеометрія, що досягається операціями абразивної обробки – шліфуванням та притиранням. Таким чином, основними технічними вимогами виготовлення матриці є [4]:

- матрицю піддати об'ємному гартуванню на величину прогартування сталі – 10 мм;
- поверхні, що не підлягають зміцненню ізолювати (кріпильні отвори для встановлення матриці);
- у заготовці забезпечити спрямування волокон перпендикулярно до руху пуансону;
- гострі кромки на отворах кріплення закруглити $R = 0,5$ мм;
- точність виготовлення матриці відповідає 6 класу;
- величина шорсткості робочої поверхні отвору матриці $Ra = 0,8$ мм;
- робочу поверхню, після абразивної обробки контролювати методом кольорової дефектоскопії [4].

1.3 Причини виходу з ладу матриці вирубного штампу

Матриця вирубного штампу використовується для формування та обробки листового металу або інших матеріалів. Вона має оптимальну форму, яка передається виробним тиском на сировину, щоб отримати необхідну геометрію деталі. Під час експлуатації виробу можуть виникати різноманітні дефекти або виріб може вийти з ладу з різних причин [1].

Надійність роботи штампів визначається правильним вибором матеріалу інструменту стосовно умов експлуатації під час виконання конкретних операцій; металургійною якістю використовуваного матеріалу; правильно призначеним та точно виконуваним режимом термічної обробки; технологією виготовлення основних деталей; раціональною конструкцією штампу.

Матриці можуть виходити з ладу під впливом різних факторів. Розуміння причин виходу матриці з ладу стає критично важливим для підтримання стабільності виробничих процесів. Існує декілька можливих причин виникнення дефектів (табл. 1.1) або виходу з ладу деталі «матриця» під час експлуатації [1].

Можливими причинами виходу з ладу матриці вирубного штампу із вуглецевої сталі У10А (базовий варіант) можуть бути [4]:

1) Невірно обраний матеріал для матриці. Штампування проводиться з великою інтенсивністю і штампи із сталі У10А не мають достатньої стійкості в роботі. В штампах діаметром (товщиною) більше 25 мм вуглецеві сталі через малу прогартовуваність отримують тонкий шар. При роботі штампів необхідне перешліфування їх робочих кромки і, в зв'язку з малою прогартовуваністю сталі У10А, загартований шар знімається. Виходячи з вище сказаного, при великих ударних навантаженнях робоча кромка знімається.

2) Кріпильні отвори є концентраторами напружень. Товщина металу між отворами та по глибині виробу не однакова. Тому при гартуванні матриці (гартування сталі У10А проводиться через воду у масло) виникають напруги, які розподілені нерівномірно по перерізу деталі. Для сталі У10А призначають після гартування низький відпуск, який лише частково знімає цю напругу. Для ліквідації отворів кріплення, а, отже, і причини руйнування, можна застосувати роз'ємну матрицю. Крім ліквідації концентраторів напружень, така конструкція має низку переваг.

Вона виключає дуже трудомістке слюсарне доведення робочих частин штампу, дозволяє поліпшити якість обробки, забезпечити рівномірний розподіл технологічного зазору між ними, а, отже, підвищити стійкість штампу (рис. 1.2).

Таблиця 1.1

Причини виникнення дефектів деталі «матриця вирубаного штампу» [1]

Дефект	Причина	Заходи усунення
Знос або подряпини на робочій поверхні матриці	Неправильна обробка або використання матеріалу низької якості.	Вибір високоякісного матеріалу для матриці та вдосконалення технік обробки.
Тріщина на поверхні матриці	Недостатня теплова обробка під час виробництва або використання матеріалу, не відповідного умовам роботи.	Оптимізація процесу теплової обробки та використання відповідного матеріалу.
Деформація матриці	Перевищення максимального робочого тиску під час експлуатації.	Встановлення системи контролю та обмеження робочого тиску.
Корозія на поверхні матриці	Взаємодія матриці з агресивними середовищами або вологою атмосферою.	Застосування стійких до корозії матеріалів або захисних покриттів.
Злам або відшарування матеріалу	Надмірне механічне навантаження або дефекти у структурі матеріалу.	Оптимізація дизайну матриці та моніторинг механічного стану.
Неправильна геометрія вирубаного виробу	Деформація матриці.	Регулярна перевірка та калібрування матриці.
Нерівномірне зношування матриці	Нерівномірний тиск або тертя під час експлуатації.	Регулярне калібрування та балансування тиску для уникнення нерівномірного зношування.

Ця конструкція дозволяє профільним шліфуванням проводити доведення її розмірів до заданих за кресленням. При цьому знижується трудомісткість виготовлення комплекту робочих частин штампу, а також суттєво скорочується витрата високолегованої сталі.

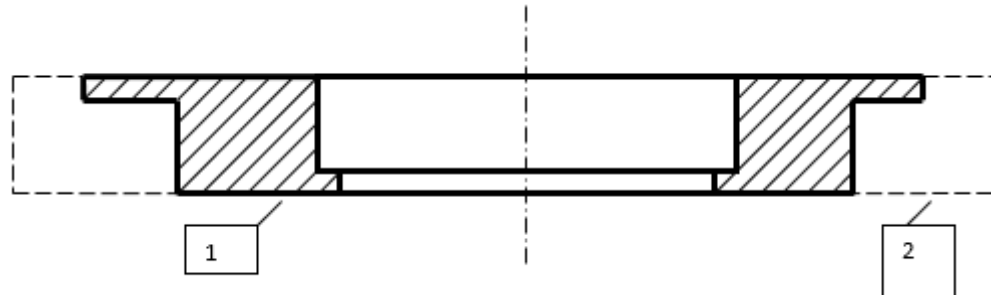


Рисунок 1.2 – Схема роз'ємної матриці: 1 - матриця; 2- матрицетримач.

3) Ще однією причиною пошкодження можуть являтися не металеві включення, їх ліквіація, раковини, пори. Для підтвердження цього припущення треба проводити макро- і мікроаналізи.

4) При штампуванні сталі 20, товщиною 0,8 мм матриця працює у важких умовах. Тому зносостійкість сталі У10А, забезпечена лише карбідом Fe_3C (цементитом), невелика. Для підвищення цієї властивості необхідна заміна матеріалу матриці.

5) На стійкість штампу значний вплив має вид, властивості і стан матеріалу, який штампується.

Зі збільшенням твердості матеріалу за збереження рівності інших умов, стійкість штампів знижується. Пояснюється це тим, що при штампуванні твердішого матеріалу питомий тиск, що сприймається робочими частинами штампу - пуансоном і матрицею, зростає, що і призводить до зниження стійкості інструменту. Великий вплив на стійкість штампів має чистота поверхні матеріалу, що штампується. Забруднена поверхня матеріалу знижує стійкість штампу[1].

При штампуванні деталей складної конфігурації та малих габаритних розмірів по контуру, особливо на вирубних операціях, стійкість штампу буде нижчою, ніж для деталей простої форми, наприклад, круглої та великих розмірів. Це пояснюється тим, що для штампування деталі простої форми легше дотримуватися

необхідних конструктивних елементів штампу. При цьому штамп працює в умовах рівномірно розподіленого навантаження на його робочі кромки. Щодо впливу товщини матеріалу на стійкість штампів, слід зазначити, що чим більша товщина штапованого матеріалу, тим більше потрібне зусилля штампування, а, відповідно, тим меншою буде стійкість штампа [1, 4].

Щоб підвищити стійкість до зносу та забезпечити додатковий захист від механічних пошкоджень, деякі сучасні матриці можуть бути оброблені спеціальними покриттями, такими, як нітрид титану, і інші.

Довговічність штапових інструментів істотно залежить також і від прийнятої технології їх механічної та термічної обробки.

Дослідження причин виходу з експлуатації деталі є дуже важливим завданням для конструкторів, технологів і матеріалознавців. Їх з'ясування сприяє розробкам нових конструкцій, більш прийнятних для даних умов експлуатації, а також матеріалів та прогресивних методів їх обробки, застосування яких дозволить отримати необхідні властивості.

Сучасні виробники використовують системи моніторингу, які вимірюють знос матриці і надають дані для запланованого обслуговування та заміни. Ефективна діагностика допомагає визначити причину виходу з ладу, що забезпечує швидке та точне вирішення проблем для мінімізації зупинок у виробництві [1].

1.4 Вимоги до матеріалу для виготовлення деталі

Деталь «матриця вирубного штампу» є важливим компонентом штампу, її надійність і якість безпосередньо впливають на виготовлені продукти. Вибір відповідного матеріалу та дотримання правильних умов експлуатації є ключовими факторами для забезпечення ефективності та тривалості роботи матриці в процесі масового виробництва [1].

Для виготовлення цієї деталі необхідний матеріал з такими характеристиками, наведеними нижче. Для виготовлення матриці вирубного штампу необхідно, щоб сталь мала наступні основні властивості:

- була високоміцною, щоб матриця витримувала значні механічні навантаження під час роботи;
- мала високу твердість, тому що процес вирубки можна виконати лише за умови, що твердість матеріалу матриці штампу значно більша за твердість матеріалу, що штампується;
- мала зносостійкість, оскільки матриця буде стикатися з повторюваним тертям і тиском;
- залежно від вибору технології виготовлення, матеріал повинен бути легко оброблюваний, щоб отримати необхідну форму та геометрію;
- мала гарну загартованість і прогартованість, що забезпечує відсутність тріщин після гартування і достатню глибину загартованого шару.

Для матриць вирубного штампу застосовують інструментальні сталі: X12, ХВГ, X12ВМ, X12М, У10А, сталь50, 6ХВГ, 4ХМФС. Деталі з цих сталей зазвичай піддають термopolіпшенню, гартуванню з високим відпуском або поверхневому гартуванню з нагрівом СВЧ і низьким відпуском або обробці висококонцентрованим джерелом енергії [1, 2].

Найкраще у такій ситуації проявить себе штампова сталь. До таких сталей відносять інструментальні сталі особливих властивостей, призначені для виробництва технологічної оснастки, деталей штампів, прес-форм і форм для лиття металу.

Висновки

Деталь «матриця», є важливим вузлом у виробництві, її надійність і якість безпосередньо впливають на виготовлені продукти. Вибір відповідної марки сталі дуже важливий для забезпечення довговічності та надійності роботи насосу.

Належний вибір марки сталі та правильна експлуатація деталі матриці сприятимуть забезпеченню довговічності, надійності та безперебійної роботи штампів.

Важливо зазначити, що виготовлення матиць з високоякісної сталі також дозволяє забезпечити високу точність геометричних параметрів деталі, що важливо для її взаємодії з іншими компонентами. Наявність правильних розмірів, форми та поверхневої обробки втулок забезпечує оптимальну роботу вузла.

Також важливо враховувати процеси термічної обробки сталі, які можуть бути застосовані під час виготовлення матриці. Застосування оптимального режиму нагрівання, охолодження та тримання при певних температурах може вплинути на структуру і властивості сталі, що в свою чергу впливає на її механічну міцність, твердість та стійкість до зношування.

Крім того, врахування умов експлуатації, таких як температурний режим, вологості та наявності агресивних речовин, є важливим для вибору відповідної марки сталі та термічної обробки. Застосування захисних покриттів або поверхневих обробок також може забезпечити додаткову захист від корозії та зношування.

Врахування всіх цих факторів та використання високоякісної сталі з відповідними властивостями та термічною обробкою є ключовими для досягнення оптимальної якості та довговічності матриці.

РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1 Аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення й зміцнення штампового інструменту

Статистика та дослідження вчених [5, 6] показують, що відомі методи виготовлення інструментів штампів з твердих матеріалів: тверді сплави, загартовані вуглецеві та леговані інструментальні сталі, такі як електроерозійне і електрохімічне вирізування за контуром електродом-дротом. Недоліками цих методів є низька продуктивність операції (швидкість лінійного різання 12-50 мм/хв.), велика ширина різку (до 0,6мм) і низька якість його поверхні (шорсткість $Rz > 20$ мкм).

В роботі [5], як найближчий аналог, було обрано спосіб виготовлення інструментів вирубних штампів лазерним випромінюванням, при якому робочий контур пуансона і матриці формують одночасно шляхом їх вирізання лазерним пучком з листової заготовки. Було поставлено задачу підвищення якості обробки і експлуатаційних властивостей інструментів штампів за рахунок зменшення шорсткості поверхні різку, підвищення їх поверхневої твердості і зменшення ширини різку до необхідного значення із умов штампування заготовок.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виготовлення вирубних інструментів штампів їх вирізання виконують нахиленим до осі лінзи пучком лазерного випромінювання або зміщеним з її осі, причому вирізанню передують опромінення заготовки з двох сторін вздовж контуру інструментів в режимі термозміцнення. Досягнення поставленої задачі пояснюється тим, що при різанні нахиленим до осі лінзи або зміщеним з неї лазерним променем, створюється можливість управління нахилом і формою стінок різку, навіть із взаємним перекриттям їх профілів, що дозволяє виготовляти штампи із заданими зазорами між інструментами. Крім того, попереднє двостороннє опромінення заготовки вздовж контуру інструментів в режимі зміцнення додає матеріалу твердості на крайках інструментів, які вирізаються, внаслідок змінення та дроблення його структури, що призводить до зниження теплопровідності матеріалу, тобто до

ефективнішого використання енергії випромінювання на операції вирізання інструментів [5].

Відмінність запропонованого способу від відомих полягає в схемі опромінення, а також в передуванні руйнівної дії променя на матеріал його опроміненням у режимі лазерного гартування що приводить до поліпшення експлуатаційних властивостей інструментів і їх якості. Оскільки ці дії приводять до досягнення задачі корисної моделі вони можуть вважатися 35 істотними відмінностями рішення.

Пізніше було запропоновано [6] спосіб лазерного вирізання елементів вирубних штампів, при якому використовують лазерний промінь, перетворений оптичною системою, в перетяжці каустики, якої розташовують поверхню заготовки та впродовж операції вирізання виконують їх відносно координатне переміщення вздовж контуру елемента, що вирізається, зі співвісною подачею струменя неактивного газу (аргон, азот або CO_2). За умови використання лазерного променя достатньої якості ($\text{BPP} \sim 1$ мрад мм) ширину різку можна зменшити до 0,3-0,5 мм, що дозволяє виконувати одночасне вирізання парних інструментів 20 штампів (матрицю та відповідних пуансонів) при утриманні зазору між ними в межах, допустимих для деяких видів штампування [6].

В операції використовують каустику перетвореного променя з асиметричним повздовжнім профілем, який створюють його ексцентричним або похилим надходженням в оптичну систему, а виконання операції передують поверхневим зміцненням матеріалу заготовки з обох її сторін уздовж контуру, що вирізається, термічною дією або поверхневопластичним деформуванням.

Після досліджень [5, 6] було запропоновано послідовність виготовлення інструментів штампів (матриця).

Для здійснення першого етапу обробки вибирається режим і схема лазерного гартування або гартування струменями струму високої частоти для створення зміцнюючого ефекту в матеріалі листової заготовки (з плавленням або без) на задану глибину, що залежить від кількості переточувань інструментів штампів і припуску на одне переточування. При наступній операції здійснюють вирізання

інструментів за контуром. Залежно від товщини заготовки і вибраного значення міжінструментального зазору в штампі S , визначають параметри опромінення (у тому числі і фокусну відстань F лінзи), а також величину ексцентриситету між 25 осями променя і лінзи або нахил осі променя на кут φ до нормалі з поверхнею заготовки. При обробці зміщеним пучком кут нахилу кромки різки у матриці залежать від форми каустики променя, причому величина зазору вимірювана між верхньою кромкою матриці і нижньою - у пуансона, може бути позитивною або навіть негативною - при чималому ексцентриситеті променя. Виготовлення штампів з оптимальною величиною зазору забезпечує його високі експлуатаційні властивості і тривалий термін служби [6].

Автори дослідження [7] провели розрахунок конструкції матриці вирубного штампів на міцність і жорсткість за допомогою методу скінченних елементів. Вони побудували 3D модель матриці і виконали розрахунок за допомогою прикладної бібліотеки APMFEM, яка призначена для виконання експрес-розрахунків твердотільних об'єктів у системі КОМПАС-3D і візуалізації результатів цих розрахунків. На основі аналізу отриманих результатів, вони оптимізували існуючу конструкцію матриці, яка задовольняє умови її експлуатації. Їх аналіз розрахунку дає змогу перейти до вдосконаленого варіанта конструкції матриці, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по периметру контуру деталі, яка вирубється.

2.2 Огляд літературних джерел щодо впливу матеріалу матриці на якість вирубного штампів

Автори статті [8] аналізують вплив матеріалу матриці на якість штампів. Проводиться порівняльний аналіз різних матеріалів, які використовуються для виготовлення матриць, та їх вплив на продуктивність та тривалість служби штампів. Матриці вирубного штампів зазвичай виготовляють з високоміцної сталі. Це дозволяє забезпечити високу міцність і зносостійкість матриці, що в свою чергу забезпечує довговічність і якість виробів, виготовлених за допомогою вирубного штампів. Окрім високоміцної сталі, для виготовлення матриць використовуються різні матеріали, залежно від конкретного застосування. Для виготовлення

різбових матриць можуть використовуватися вуглецеві сталі, нержавіючі сталі або сплави з високим вмістом вольфраму. Для виготовлення матриць для листового штампування можуть використовуватися такі матеріали, як високошвидкісна сталь, сплави з високим вмістом вольфраму, карбід вольфраму та сплави на основі кобальту.

Матеріали, які використовуються для виготовлення матриць, включають такі матеріали, як сталеві сплави, карбід, сталевий цементований карбід, сплави на основі цинку, сплави з низькою температурою плавлення, бронза на основі алюмінію, полімерні матеріали та інші [8].

Твердість і зносостійкість, а також міцність є двома найважливішими критеріями при виборі відповідної сталі. Оскільки ці характеристики зазвичай протидіють одна одній, при виборі часто потрібно йти на компроміс. Зазвичай це робиться через робочу твердість або спеціальну обробку поверхні. Вибір сталі, а також її робоча твердість залежать головним чином від товщини та міцності матеріалу, який потрібно розрізати. Чим більше товщина і міцність матеріалу стрічки, тим вище навантаження на активні частини матриці [9].

Автори статті [9] пропонують використовувати такі матеріали:

- інструментальна або сталь для холодної обробки. Марка матеріалу 1.2379 (X153CrVMo12) вважається «класичною» сталлю для виготовлення штампів. Цей матеріал також використовується як цільна різальна пластина, оскільки після затвердіння він має дуже хорошу стабільність розмірів. Робоча твердість приблизно 60-62 HRC;

- швидкорізальна сталь. Як стандартний матеріал для матриць і ріжучих елементів використовується швидкорізальна сталь 1.3343 (X82WMoV65). У порівнянні з матеріалом 1.2379 має вищу зносостійкість і твердість. Робоча твердість приблизно 63-65 HRC;

- сталь порошкової металургії. Завдяки однорідній структурі порошкови металургійні сталі мають дуже високу в'язкість. Марка матеріалу 1.3344(W 6 Mo 5 Cr 4 V 3) використовується для матриць і вирубних пуансонів з високими навантаженнями. Робоча твердість приблизно 63-65 HRC. Найновішою

порошковою металургійною сталлю є матеріал марки M W10 PM з приблизно 10% вольфраму. Використовується для матриць і пуансонів з максимальними навантаженнями. На додаток до дуже хорошої крайової стійкості, матеріал марки M W10 PM забезпечує високу міцність на стиск і ідеально підходить для матеріалів, чутливих до адгезивного зношування. Робоча твердість приблизно 66-68 HRC;

- карбід. Стійкий до корозії універсальний твердий сплав CF-H40S+ має чудовий баланс і пропонує ідеальний компроміс між твердістю та в'язкістю до руйнування з високою стабільністю краю. Висока зносостійкість гарантує максимальний термін служби матриці та пуансона.

Автори [8, 9] стверджують, що вибір матеріалу для матриці є важливим фактором, який впливає на якість вирубного штампу. Вони вказують, що матеріал матриці впливає на її міцність, жорсткість, стійкість до зносу та інші властивості, які впливають на продуктивність та тривалість служби штампу. Це дослідження є важливим внеском у розуміння впливу матеріалу матриці на якість вирубного штампу.

2.3 Аналіз літератури щодо існуючих технологій термічної обробки деталі «матриці» вирубного штампу

Стаття [10] розглядає профілактичні заходи щодо деформації та розтріскування після термообробки штампу. Автори статті вказують, що деформація матриці після термічної обробки серйозно впливає на якість і термін служби матриці. Якщо матриця трісне під час термічної обробки, це призведе до зламування матриці. Тому зменшення та запобігання деформації матриці при термічній обробці та уникнення її розтріскування є важливою темою дослідження [10].

В статті [10] коротко викладено про правильність підбору термічної обробки та її режимів. Деформація матриці та розтріскування пов'язані не лише з напругою, що виникає в процесі гартування, але й із вихідною структурою та залишковою внутрішньою напругою перед гартуванням. Тому необхідну попередню термічну обробку необхідно провести на заготовці матриці. Автори зазначають, що матриця

меншого розміру зі сталі Т7 і Т8 легко розбухає під час гартування. Хоча матрицю більшого розміру, виготовлену з високовуглецевої сталі Т10 і Т12, легко стиснути під час гартування, для досягнення кращого ефекту необхідно застосувати сфероїдизуючий відпал, ніж гартування та відпуск.

Для низьколегованої інструментальної сталі обробка гартуванням і відпуском організовується після обробки, щоб зробити леговані карбіди рівномірно розподіленими, що добре впливає на покращення структури та усунення несприятливих наслідків кування та оригінальної структури. Гартування та відпуск можуть отримати рівномірно розподілені карбіди та дрібнозернисту структуру сорбіту, збільшити питомий об'єм вихідної структури, покращити механічні властивості сталі та зменшити деформацію. Для штампів із високолегованої інструментальної сталі (наприклад, сталі з високим вмістом хрому) після гартування та відпуску відбуватиметься різний ступінь усадки. Тому, якщо високотемпературний відпуск під час гартування та відпуску замінити на обробку відпалом, можна отримати кращі результати після гартування [10].

Конструкційна легована сталь може отримати більш високу твердість шляхом попередньої обробки гартуванням і відпуском і може зменшити зміну питомого об'єму під час гартування, що сприяє зменшенню деформації та розтріскування під час гартування. Використання низькотемпературного відпалу для усунення напруги холодної обробки матриці є простішим, коротшим циклом і меншим окисленням, ніж гартування та відпуск, і різні матеріали можна обробляти тим самим процесом [10].

Підводячи підсумок автори [10] зазначили, що різні види попередньої термічної обробки повинні заздалегідь скоригувати початкову структуру та усунути напругу обробки відповідно до закону розширення та звуження матриці, щоб зменшити деформацію та розтріскування.

В роботі [11] автори аналізують вплив низькотемпературної термообробки на властивості штампового інструменту. Було використано дуже низькі температури розчинення (<450 °С, за якими слідує старіння при 165 °С) для запобігання появі пухирів. Це дослідження проводилося на зразках, взятих з реальних відливок, щоб

оцінити типові дефекти, з якими зустрічаються при звичайному виробництві. Властивості були проаналізовані за допомогою візуального огляду, мікроструктурних спостережень, аналізу зображень, випробувань на твердість, розтягування та фрактографії. Результати показали, що можна використовувати температури розчинення нижче 450 °С впродовж кількох годин в термічному режимі T6 для зміцнення без значного утворення пухирів в сплаві AlSi9Cu3. Оптимальне поєднання властивостей було забезпечено розчиненням при 430 °С впродовж 4 годин, за яким слідувало старіння при 165 °С впродовж 8 годин, що дало збільшення межі текучості приблизно на 50 МПа, збільшення пластичності та найкраще значення індексу якості [11].

Статистика та дослідження багатьох вчених показують, що відомі методи виготовлення інструментів штампів з твердих матеріалів: тверді сплави, загартовані вуглецеві та леговані інструментальні сталі, такі як електроерозійне і електрохімічне вирізування за контуром електродом-дротом. Матеріали, які використовуються для виготовлення матриць, включають такі матеріали, як сталеві сплави, карбід, сталевий цементований карбід, сплави на основі цинку, сплави з низькою температурою плавлення, бронза на основі алюмінію, полімерні матеріали. вибір матеріалу для матриці є важливим фактором, який впливає на якість вирубного штампу. Вони вказують, що матеріал матриці впливає на її міцність, жорсткість, стійкість до зносу та інші властивості, які впливають на продуктивність та тривалість служби штампу. Деформація матриці після термічної обробки серйозно впливає на якість і термін служби матриці.

2.4 Аналіз, порівняння та синтез результатів літературних джерел

Порівнюючи різні матеріали, технології виготовлення та термічну обробку штампового інструменту на основі літературних даних, можна зробити наступні висновки щодо оптимального вибору матеріалу та технології виготовлення матриці вирубного штампу:

Матеріали: штампові сталі є стандартним варіантом для виготовлення матриць завдяки своїм властивостям, таким як міцність, корозійна стійкість та

оброблюваність. До таких сталей відносять інструментальні сталі особливих властивостей. Однак, матеріали, такі як швидкорізальна сталь, сталь порошкової металургії можуть бути також розглянуті для використання в цьому контексті. Вибір матеріалу повинен залежати від вимог до експлуатаційних умов, вартості та можливостей виготовлення.

Технології виготовлення: лазерне випромінювання є одним з поширених способів виготовлення матриць. Цей процес дозволяє отримати складну форму деталі та забезпечити високу точність геометрії. Крім того, існують інші технології, такі як вирізання лазерним променем з листового матеріалу. Аналіз розрахунку дає змогу перейти до вдосконаленого варіанта конструкції матриці, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по периметру контуру деталі, яка вирубуеться.

Термічна обробка: для сталі ХВГ рекомендовані такі процеси термічної обробки: відпалювання, гартування та відпуск. Ці процеси сприяють покращенню міцності, твердості та пластичності матеріалу. Однак, оптимальні режими термічної обробки повинні бути визначені відповідно до конкретних вимог до матриць та їхнього застосування.

Загальні висновки щодо оптимального вибору матеріалу та технології виготовлення матриць вирубного штампу повинні ґрунтуватись на комплексному підході. Розгляд оптимального вибору матеріалу та технології для виготовлення матриць вирубного штампу має бути всеосяжним, з урахуванням їх функціональних можливостей, умов експлуатації, економічної вигідності та виробничих обмежень. Для підтвердження правильності вибору слід проводити додаткові дослідження та експерименти. враховуючи вимоги до функціональності, експлуатаційних умов, економічних факторів та можливостей виробництва.

Висновки

У цьому розділі розглянуті джерела літератури, що стосуються теми моєї бакалаврської роботи — вибір матеріалу, технології виготовлення та термічної обробки матриці вирубного штампу. Було показано, що матриця є одним із ключових інструментів у виробництві металевих деталей і виробів. Вказано на важливість правильного вибору матеріалу, технології виготовлення та термічної обробки матриці вирубного штампу. Неправильний вибір може призвести до низької якості, слабкої міцності та обмеженої тривалості служби деталі. Проблеми, пов'язані з невірним вибором, можуть спричинити збільшення тертя, нерівномірний розподіл навантаження, поломки та зниження продуктивності.

Основна мета літературного огляду — це аналіз різних матеріалів, технологій виготовлення та термічної обробки матриці вирубного штампу з метою вибору найкращого варіанту, який гарантує високу якість та ефективність виконання завдань. Таким чином, було проаналізовано наявну літературу для визначення оптимальних варіантів вибору матеріалу, маршрутної технології виготовлення та термічної обробки для досягнення високої якості та ефективності матриць вирубних штампів.

Після огляду літератури та аналізу різних аспектів виготовлення штампового інструменту можна зробити наступні висновки. Вибір матеріалу: штампові сталі є стандартним варіантом для виготовлення матриць завдяки своїм властивостям, таким як міцність, корозійна стійкість та оброблюваність. До таких сталей відносять леговані інструментальні штампові сталі. Маршрутна технологія виготовлення заготовки: лазерне випромінювання є одним з поширених способів виготовлення матриць. Цей процес дозволяє отримати складну форму деталі та забезпечити високу точність геометрії. Крім того, існують інші технології, такі як вирізання лазерним променем з листового матеріалу.

Термічна обробка: для сталі ХВГ рекомендовані такі процеси термічної обробки: відпалювання, гартування та відпуск. Ці процеси сприяють покращенню міцності, твердості та пластичності матеріалу.

РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ТА ЙОГО АНАЛОГІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ. ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА СТАЛЬ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика матеріалу та його аналогів для виготовлення деталі

Вибір матеріалу для деталі «матриця вирубного штампу» та методів дослідження є ключовим етапом у розробці ефективних та тривалих під час роботи інструментів.

Найкраще, виходячи із приведених умов роботи та вимог до матеріалів для матриць, підходить штампова сталь. Хімічний склад штампових сталей відповідає ДСТУ 3953-2000 [12, 13]. Це сталі із вмістом деяких легувальних елементів (C, W, Si, Mn, V, Mo) і вуглецю. Так як ця група призначена для деталей даного типу, вона буде відповідати всім вимогам [12].

Для матриць вирубного штампу застосовують інструментальні сталі: X12, ХВГ, X12ВМ, X12М, У10А, Сталь50, 6ХВГ, 4ХМФС. Деталі з цих сталей зазвичай піддають термополіпшенню (гартуванню з високим відпуском) або поверхневому гартуванню нагрівом СВЧ і низьким відпуском або обробці висококонцентрованим джерелом енергії [12].

Вибираючи матеріал для матриць, треба вибирати не тільки сталь, яка б забезпечила високі вимоги, що пред'являються до механічних властивостей, але необхідно оцінювати вартість і самого матеріалу, виготовлення деталі, термічну обробку, а також дефіцитність цього матеріалу.

Вибір матеріалу для виготовлення матриці вирубного штампу необхідно проводити виходячи з умов експлуатації та технічних вимог. Обираємо сталь ХВГ, яку доцільно використовувати саме для виготовлення матриць і пуансонів вирубних штамсів, тому що вона має гарні технологічні та експлуатаційні властивості.

Сталь ХВГ є однією з найкращих інструментальних сталей. Карбіди хрому і вольфраму надають їй високу стійкість проти стирання, марганець - високу прогартуваність, а вольфрам – дрібнозернистість. Відпалюють цю сталь при

температурі 780-800°C. Ця сталь характеризується малим викривленням. З неї виготовляють деталі складної форми та великої довжини [14]. Обрана нами сталь ХВГ відноситься до інструментальних штампових сталей, які містять до 1 % вуглецю; до 1 % хрому, до 1 % вольфраму і до 1 % марганцю (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Хімічний склад сталі ХВГ, % [14]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W	Cu
0,9 – 1,05	0,1 – 0,4	0,8 – 1,1	до 0,4	до 0,3	до 0,03	0,9 – 1,2	1,2 – 1,6	до 0,3

Сталь ХВГ застосовується для вимірювального і ріжучого інструменту, для якого підвищення жолоблення при гартуванні неприпустимо, різьбових калібрів, протяжок, довгих мітчиків, довгих розгорток і інших видів спеціального інструменту, холодновисадочних матриць і пуансонів, технологічного оснащення. Сталь ХВГ застосовується для виготовлення штампів, матриць, пуансонів та інших інструментів для обробки металів за допомогою високого тиску. За структурою сталь ХВГ – заевтектоїдна сталь перлітного класу [14]. Термічну обробку сталі призначаємо орієнтуючись на критичні температури і інші характеристики (табл. 3.2- 3.4).

Таблиця 3.2

Температура критичних точок, °C [14]

Ac₁	Ac₃(Ac_m)	Ar₁	Mn
750	940	710	210

Таблиця 3.3

Технологічні властивості матеріалу ХВГ [14]

Зварюваність	не застосовується для зварних конструкцій
Флокеночутливість	чутлива
Схильність до відпускнуї крихкості	малосхильна

Таблиця 3.4

Фізичні властивості матеріалу ХВГ [14]

T	E 10⁻⁵	α 10⁶	λ	ρ	C	R 10⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20				7850		380
100		11		7830		
200		12				
300		13		7660		
400		13,5				
500		14				
600		14,5		7660		

За відсутності марочної сталі ХВГ можна здійснити заміну на сталь ШХ15СГ, сталь 9ХС, сталь 9ХВГ, сталь ХВСГ, сталь ХГ. У сталях ХВГ відсутні відхилення, такі як напруження з показником залишкової деформації порядку 0,2%, механічне напруження, умовні подовження і звуження. Вміст в виробках ХВГ до 0,8% вуглецю позитивно відображається на міцнісних характеристиках [14].

Сталева арматура квадратного перерізу представляє собою квадрат ХВГ. Сталевий виріб переважно застосовується в виробничих сферах завдяки його безсумнівним перевагам: універсальність, міцність, стійкість до механічних впливів і корозії. Розрізняють квадрати мірної довжини, кратної мірної і немірної довжини, відвантаження замовнику здійснюється у вигляді прутків, в деяких випадках у мотках[14,15].

Лист ХВГ — матеріал для потреб будівельників і в машинобудуванні, постачається рулонами та листами. Листовий прокат призначається для виробництва зварних труб і конструкцій, гнутих профілів, корпусів у суднобудуванні, хімічних і теплообмінних апаратах та різноманітних виробів. Зберігає статус найпопулярнішого виду плоского прокату [15].

Круг ХВГ — продукт у формі стержня з круглим перерізом. Сталевий виріб застосовується як сировина для виробництва деталей різної складності та

призначення. Круги ХВГ з літерою «А» позначають високу точність за розмірами і діаметром; з літерою «Б» — існує можливість невеликого відхилення в діаметрі; з літерою «В» — універсальний з високою доступністю [15].

3.2 Вплив хімічних елементів на характеристики і властивості сталі ХВГ

Сталь марки ХВГ характеризується високою твердістю і стійкістю. Легувальні елементи додаються до цієї сталі для підвищення її загартовуваності, що дозволяє отримувати загартований шар необхідної товщини з мінімальними деформаціями і без тріщин. Сталь ХВГ легована хромом, вольфрамом і марганцем, має добру загартованість і прогартованість. Після гартування кількість залишкового аустеніту підвищується (до 15-18 %). Присутність залишкового аустеніту зменшує коробленні, робить матеріал менш деформівним. Наявність залишкового аустеніту знижує стійкість до малих пластичних деформацій і підвищує сприйнятливність до утворення тріщин при шліфуванні. Кремній (0,1 – 0,4) % дещо підвищує опір відпуску і сприяє утворенню окалини, що легко відділяються. Вольфрам (1 – 5) % підвищує зносостійкість. Недоліками сталі ХВГ є: підвищена карбідна неоднорідність (у заготовках з великим поперечним перерізом), це призводить до викришування і знижує стійкість інструменту [16].

3.2.1 Вплив вуглецю

Вуглець основний елемент, який обов'язково повинен бути присутнім в кожній сталі. У обраній марці сталі ХВГ, вміст вуглецю приблизно 1 %. Структура сталі після повільного охолодження складається з двох фаз - фериту і цементиту. Тверді і крихкі частки цементиту підвищують опір руху дислокацій, тобто підвищують опір деформації, і, крім того, вони зменшують пластичність і в'язкість. Внаслідок цього зі збільшенням в сталі вуглецю зростають твердість, межі міцності і текучості і зменшуються відносне подовження, відносне звуження і ударна в'язкість. Вуглець підвищує поріг холодноламкості сталей і зменшує ударну в'язкість при температурах вище критичної температури. Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі збільшуються її твердість, міцність, зменшуються в'язкість і пластичність [16].

У підсумку, вуглець має важливий вплив на властивості сталі ХВГ. Він забезпечує підвищену міцність і твердість, але може впливати на пластичність і в'язкість матеріалу. Врахування вмісту вуглецю дозволяє досягти балансу між цими властивостями і забезпечити оптимальні характеристики.

3.2.2 Вплив хрому

Цей елемент підвищує точку A_{c1} . Хром покращує властивості міцності, а також знижує схильність фериту до крихкого руйнування і зміщує максимальну швидкість перетворення аустеніту в перлітній області в бік більш високих температур. Зменшує швидкість перлітного перетворення. Коли карбіди повністю розчиняються і твердий розчин значно насичується вуглецем, мартенситна точка сталі значно знижується і в сталі зберігається багато залишкового аустеніту [16].

Хромисті сталі мають підвищену стійкість до відпуску. Хром покращує прогартованість сталі і сприяє отриманню високої і рівномірної твердості. Наявність карбідів хрому або цементованих карбідів покращує зносостійкість сталі. Крім того, хром надає сталі високу стійкість до окислення та корозії, допомагаючи утворювати пасивний шар оксиду хрому на поверхні сталі [16].

У підсумку, додавання хрому до сталі має великий вплив на її властивості. Цей легувальний елемент, сприяє утворенню різних типів карбідів, покращує фізичні характеристики і забезпечує високу стійкість до окислення та корозії. Всі ці фактори роблять сталь ХВГ більш міцною, стійкою та довговічною в різних умовах експлуатації [12, 16].

3.2.3 Вплив вольфраму

Даний хімічний елемент сприяє збільшенню точок A_{c3} і A_{c1} , а також підвищує температуру рекристалізації. Ефект вольфраму проявляється в підвищенні твердості, межі міцності та текучості фериту, однак водночас знижує пластичність матеріалу. Важливо відзначити, що утворення карбідів та інших сполук вольфраму пригнічує тенденцію до росту зерна аустеніту. В перлітній області вольфрам може підвищити стабільність аустеніту, залишаючи мінімальний вплив на стабільність у

проміжній області. Також слід відзначити, що цей хімічний елемент сприяє підвищенню стійкості проти відпуску та жаростійкості сталевих сплавів [16]. Узагальнюючи, вольфрам являє собою важливий легувальний елемент у сталі. Він сприяє підвищенню стійкості проти відпуску та жаростійкості.

3.2.4 Вплив марганцю

Легування фериту цим елементом зміцнює його. Найбільший вплив на міцність мають марганець і хром. Чим дрібніші частинки фериту, тим вища міцність. Вміст марганцю вище 1% підвищує ударну в'язкість і розширює аустенітну зону, підвищує загартованість, сприяє розкисленню сталі і формує стабільно стійкі карбіди. Марганець (1 – 2) % забезпечує мінімальну зміну розмірів інструменту під час загартування. Інтенсивно знижуючи інтервал температур мартенситного перетворення, марганець сприяє збереженню в структурі підвищеної кількості залишкового аустеніту (15 – 20) %, який частково або повністю компенсує збільшення обсягу в результаті утворення мартенситу [16].

Сталь ХВГ у своєму складі має легувальні елементи хром, вольфрам і марганець, які впливають на кінетику перетворень, що відбуваються у сталі під час термічної обробки. Так, при нагріванні сталі вище критичної температури A_1 (аустенізації), легувальні елементи впливають на положення цієї температури відносно діаграми залізо-цементит: хром і вольфрам підвищують температуру AC_1 , а марганець – знижує. В результаті сумарного впливу вона становить $750\text{ }^\circ\text{C}$. Вплив легувальних елементів (Cr, W, Mn) також проявляється у зсуві евтектоїдної точки (0,8 % C) в бік менших концентрацій вуглецю. Присутність легувальних елементів у сталі ХВГ суттєво відбивається на швидкості перетворення механічної суміші в аустеніт, оскільки вони уповільнюють швидкість дифузії вуглецю, обумовлюючи цим значно більші проміжки часу для повноти перетворення. Крім того, марганець підвищує схильність зерна аустеніту до росту, а хром і вольфрам зменшують, чинячи гальмівну дію на ріст зерна під час нагрівання. При охолодженні аустеніту – обмеженого твердого розчину впровадження атомів вуглецю в ґратку γ -заліза, що має гранецентровану кубічну (ГЦК) ґратку, хром,

марганець і вольфрам підвищують стійкість переохолодженого аустеніту до розпаду [16, 17].

Хром, вольфрам і марганець, знаходячись у твердому розчині, суттєво впливають на положення точок початку (M_H) і кінця (M_K) мартенситного перетворення. Для сталі ХВГ температура $M_H = 210$ °С. Зниження температури M_H до кімнатної сприяє утворенню в структурі сталі після гартування залишкового аустеніту, який при охолодженні зменшує деформованість інструменту. Зсув кривих розпаду аустеніту вправо означає, що зменшується критична швидкість гартування, яка забезпечує переохолодження аустеніту до температур $M_H - M_K$ без утворення проміжних продуктів розпаду, а також сприяє збільшенню прогартуваності сталі, яка для сталі ХВГ становить понад 40 мм [17].

Гартована сталь представляє собою нестабільний структурний стан, який при нагріванні (відпуску) буде зазнавати перетворення за дифузійним механізмом з утворенням нової більш рівноважної структури. Інтенсивність перетворення залежить від температури відпуску сталі. Під впливом легувальних елементів підвищується стійкість сталі проти відпуску, збільшуючи цим теплостійкість сталі [17].

3.3 Методи дослідження

3.3.1 Дослідження мікроструктури

Для дослідження мікроструктури сталі був використаний металографічний мікроскоп МИМ-7 (рис. 3.1) [18, 19].

Для дослідження мікроструктури сталі ХВГ використання металографічного мікроскопа МИМ-7 є досить поширеним підходом. Цей процес дозволяє вивчати внутрішню структуру матеріалу, яка впливає на його механічні властивості, такі як міцність, твердість та пластичність [18-20]. Характеристики мікроскопа МИМ-7:

- збільшення: Дозволяє досліджувати зразки при збільшеннях від 50 до 1500 разів;
- оптика: Високоякісні лінзи забезпечують чіткість та деталізацію зображення;

- освітлення: Система освітлення забезпечує рівномірне освітлення зразка для кращої видимості мікроструктурних елементів [18-20].

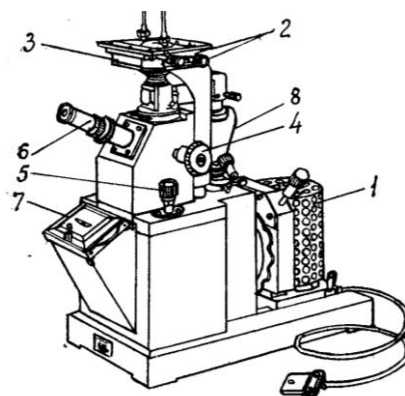


Рисунок 3.1 – Загальний вид і пристрій мікроскопа МИМ-7: 1 – корпус; 2 – регулювальні гвинти предметного столика; 3 – предметний столик; 4 – макрометричний (грубий) механізм наведення на різкість; 5 – мікрометричний гвинт налаштування різкості зображення; 6 – окуляр; 7 – фотокамера; 8 – апертурна діафрагма [18, 19]

Загалом, металографічний мікроскоп МИМ-7 є незамінним інструментом для дослідження мікроструктури сталі і надає можливість отримати важливу інформацію про її властивості та якість.

3.3.2 Вимірювання твердості

Твердомір ТР-5006 використовується для вимірювання твердості матеріалів за методом Роквелла, який базується на заглибленні індентора під встановленою силою та вимірюванні глибини проникнення. Значення твердості виражаються в одиницях шкали Роквелла, наприклад, HRC для твердих матеріалів [18].

Основні характеристики ТР-5006.

Шкали вимірювання:

- шкала А: 70-95 HRA;
- шкала В: 25-100 HRB;
- шкала С: 20-70 HRC.

Автоматизація процесу: система навантаження автоматизована, що забезпечує стабільні й точні результати.

Простота використання: зручний інтерфейс полегшує процес вимірювання.

Обробка даних: вбудована система для збереження та аналізу результатів.

Твердомір ТР-5006 забезпечує надійне вимірювання твердості, що дозволяє контролювати якість та властивості матеріалів для їх подальшого використання [18, 21-22].

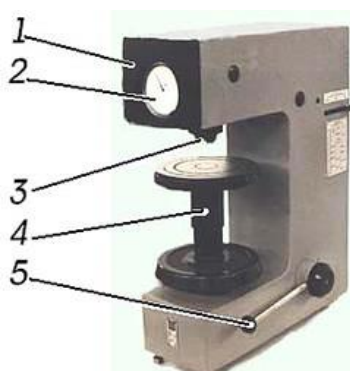


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд твердоміра ТР – 5006: 1 - станина; 2 - індикатор; 3 - алмазний наконечник-конус (індентор); 4 - стіл; 5 - ручка важеля навантаження [21-22]

Твердомір ТР-5006 є надійним і точним пристроєм для вимірювання твердості матеріалів методом Роквелла і може бути використаний для оцінки твердості отриманої деталі. Це дозволяє контролювати якість та властивості матеріалу і забезпечує важливу інформацію для подальшого використання деталі [21].

Висновки

Для виготовлення деталі «матриця вирубного штампу» необхідно використовувати матеріал з високими міцнісними властивостями, достатньою твердістю, довговічністю, який має гарну загартованість і прогартованість.

Перерахованим вимогам відповідають лише певні марки інструментальних сталей. Рекомендовано використовувати сталь ХВГ для виготовлення матриці вирубного штампу. Ця сталь відноситься до інструментальних штампових сталей, які містять до 1 % вуглецю; до 1 % хрому, до 1 % вольфраму і до 1 % марганцю. За структурою сталь ХВГ – заевтектоїдна, перлітного класу. Вона надійно працює на знос та при ударних навантаженнях за рахунок невеликої кількості залишкового аустеніту.

Сталь ХВГ в своєму складі має легувальні елементи хром, вольфрам і марганець, які завдають впливу на кінетику перетворень, які відбуваються в сталі при термічній обробці. Наявність в сталі ХВГ до 1,6 % вольфраму забезпечує металу підвищений супротив зносу. Хром і вуглець, яких до 1 % - надають потрібну твердість, а кремній (до 0,4 %) – добрий супротив при відпуску. Завдяки марганцю (до 1,1 %), сплав пластичний, цілісний по структурі і витримує ударні навантаження.

Для дослідження властивостей і характеристик сталі ХВГ, призначеної для виготовлення матриці вирубного штампу, рекомендується використовувати мікроскоп МИМ-7 для аналізу мікроструктури та твердомір ТР-5006 для вимірювання твердості після термічної обробки за шкалою HRC.

РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «МАТРИЦЯ ВИРУБНОГО ШТАМПУ»

4.1 Вибір методу отримання заготовки

Методи виготовлення матриць включають [23]:

- фрезерування: цей метод використовується для обробки металевого блоку або пластини за допомогою фрезерного верстата.
- кування: це процес обробки металу, що використовується для формування заготовок з металевих блоків або прокату.
- електроерозійна обробка: цей метод використовується для обробки твердих матеріалів, таких як метал, за допомогою іскри, що генерується між інструментом і робочим електродом. Цей процес може бути використаний для створення складних геометричних форм.
- лазерне різання: лазер може використовуватися для вирізання матеріалу з високою точністю.
- електрохімічне формування: цей метод використовує електрохімічний процес для формування деталей матриці на поверхні металу.
- 3D-друкування: сучасні технології 3D-друку дозволяють створювати складні форми матриць шляхом нанесення матеріалу шар за шаром за допомогою спеціального принтера.

Вибір методу залежить від області застосування, матеріалу, вартості та обсягу виробництва.

Метод кування вважається одним з найбільш універсальних для виготовлення матриць вирубного штампу з кількох причин [24]:

- міцність і довговічність: кування дозволяє створювати деталі з високою міцністю і довговічністю, що важливо для матриць, які піддаються інтенсивному використанню і тискам.
- гнучкість у формуванні: під час кування можна створювати складні геометричні форми, необхідні для матриць вирубного штампу, включаючи різні кутові деталі та дуже точні мікроскопічні елементи.

- контроль якості: процес кування дозволяє контролювати якість і розміри деталі під час формування, що є важливим для виготовлення точних матриць.

- можливість теплової обробки: кування зазвичай супроводжується тепловою обробкою, яка дозволяє змінювати механічні властивості металу, такі як міцність, твердість та еластичність, що важливо для оптимізації роботи матриці.

- ефективність в багатосерійному виробництві: кування може бути ефективним у великих обсягах виробництва, що дозволяє швидко виготовляти багато однотипних матриць.

Основна ідея кування полягає в тому, щоб нагріти метал до високої температури, після чого його обробляють на металообробному обладнанні, такому як кувальний молот або прес. Сталь має бути підготовлена перед куванням. Це включає розрізання прокату на мірні заготовки. Заготовку нагрівають до високої температури, щоб зробити метал пластичним і забезпечити йому можливість формування під дією тиску. Під час нагрівання із заготовки видаляють надлишок матеріалу або формують її в бажану геометричну форму. Потім йде тепла обробка. Основна мета теплової обробки - забезпечити відповідні механічні властивості матеріалу, такі як міцність і твердість, шляхом контрольованого охолодження. Після завершення кування та теплової обробки проводиться контроль розмірів і дефектів заготовки, щоб переконатися у відповідності отриманої деталі вимогам якості [24].

Метод кування поєднує в собі високу міцність та точність формування з можливістю оптимізації виробництва, тому для виготовлення матриці вирубного штампу скористаємося саме цим методом [24].

4.2 Розробка технологічного процесу отримання деталі «матриця вирубного штампу»

Один з ключових принципів у побудові технологічних процесів полягає у гармонійному поєднанні завдань технічного, економічного та організаційного характеру, які вирішуються в конкретних умовах виробництва. Технологічний процес повинен гарантувати виконання всіх вимог до точності і якості деталей у

цілому, які передбачені кресленнями та технічними умовами, при мінімізації витрат праці та забезпеченні мінімальної собівартості. Маршрутна технологія – це послідовність технологічних операцій від початкової до установки деталі в вузол або механізм [25].

Маршрутна технологія виготовлення деталі повинна містити в собі [25]:

- послідовність технологічних операцій;
- обладнання для проведення операцій, зазначених в маршрутній технології.

Маршрутна технологія складається з певних послідовних кроків :

- отримання чавуну, отримання сталі;
- отримання заготовки;
- попередня термічна обробка;
- чорнова механічна обробка;
- остаточна термічна обробка;
- чистова механічна обробка;
- вихідний контроль.

Технологічний процес виготовлення деталі складається з декількох етапів, а кожен етап складається з декількох операцій (табл. Б.1, ДОДАТОК Б). Розглянемо більш детально етапи технологічний процесу виготовлення деталі «матриця вирубного штампу».

Етап 1. Металургійне отримання сталі

Видобуток залізної руди та її збагачення: Залізна руда є основним джерелом заліза. Руда може бути видобута зі шахт або відкритих родовищ. Застосовуються різні методи добування. Після добування руда проходить через процес збагачення, де вона очищається від небажаних домішок, таких як глина або піски, і піддається подрібненню для подальшого використання у металургійному виробництві [24, 25].

Видобуток вугілля, отримання коксу: На цьому етапі добувають вугілля, яке використовується в металургійному процесі для отримання коксу. Кокс - це вид горючого вугілля, який виникає внаслідок нагрівання вугілля у відсутності повітря. Кокс використовується як паливо та джерело вуглецю в процесі виробництва сталі [24].

Видобуток пального газу, його підготовка: Цей етап включає видобуток пального газу, який може бути використаний як паливо у металургійному виробництві або піддаватися подальшій обробці для отримання цінних продуктів, таких як аміак або метан [24, 25].

Підготовлення шихти: На цьому етапі виконується підготовка шихти - суміші руди, вугілля та інших домішок, яка буде використана у виробництві сталі. Шихта формується в шихтовому дворі, де різні компоненти розташовуються в певному порядку [24, 25].

Отримання сталі дуплекс процесом - це складний технологічний процес, що включає кілька етапів: завантаження твердих шихтових матеріалів до конвертеру, заливання рідкого чавуну; продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу; зливання сталі та шлаку; завантаження твердих шихтових матеріалів до електродугової печі; завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі; виливання сталі в розливочний ківш: остаточний етап полягає у виливанні сталі з печі в розливочний ківш, де вона далі може бути використана для виготовлення виробів або зливку [24, 25].

Етап 2. Отримання заготовки

Розрізання прокату на мірні заготовки: На цьому етапі проводиться розрізання прокату, тобто металевих пластин або блоків, на мірні заготовки за допомогою фрезерного верстата та дискової фрези.

Кування: На цьому етапі проводиться обробка заготовки тепловою обробкою у кузнечній дільниці. Заготовка нагрівається у кузнечній печі до певної температури, щоб забезпечити пластичність металу. Після цього проводяться операції кування для формування та зміцнення заготовки [24, 25].

Контроль розмірів і дефектів: На цьому етапі проводиться контроль розмірів і дефектів заготовки, щоб переконатися у відповідності отриманої деталі вимогам якості. Для цього використовуються вимірювальні інструменти, які дозволяють визначити розміри заготовки з необхідною точністю, а також ультразвуковий дефектоскоп для виявлення можливих дефектів у структурі матеріалу [24].

Етап 3. Попередня термічна обробка

Ізотермічний відпал: На цьому етапі проводиться ізотермічний відпал, що означає нагрівання заготовки до певної температури (в даному випадку 780-800 °С) і утримання її при цій температурі впродовж певного часу. Це дозволяє знижувати напруги у металі та зміцнювати його структуру [25].

Контроль (вимірювання твердості): На цьому етапі проводиться контроль твердості матеріалу після попередньої термічної обробки. Вимірювання твердості зазвичай здійснюється за допомогою твердоміра, такого як ТШ-2. Це дозволяє визначити механічні властивості та міцність матеріалу після термічної обробки [25].

Етап 4. Чорнова механічна обробка

Стругання (обробка поверхні заготовки на стругальному верстаті): На цьому етапі проводиться обробка поверхні заготовки на стругальному верстаті. Стругальний верстат використовується для видалення зайвого матеріалу та надання заготовці певної геометрії та рівності [24].

Токарна (обточування торців та діаметрального розміру з припуском з обох боків): На цьому етапі проводиться обточування торців та діаметрального розміру заготовки з припуском з обох боків. Токарно-гвинторізний верстат використовується для обточування деталі та надання їй необхідної форми та розмірів [25].

Фрезерування:

- свердління базових отворів: На цьому етапі проводиться свердління базових отворів у заготовці за допомогою горизонтально фрезерного верстату та свердла.
- фрезерування контуру матриці: Використовується горизонтально фрезерний верстат та фрези для обробки контуру матриці.
- шліфування нижньої та верхньої поверхні; двох бокових поверхонь: Шліфувальний верстат використовується для отримання гладкої та рівної поверхні на нижній, верхній та бокових сторонах заготовки [24].

Етап 5. Остаточна термічна обробка

Гартування: На цьому етапі проводиться гартування заготовки в термічній дільниці при температурі в діапазоні 820 – 850 °С. Гартування є процесом, за якого

швидко охолодження металу після нагрівання при високій температурі спричиняє зміну структури металу та підвищує його міцність і твердість [25].

Відпуск: На цьому етапі проводиться відпуск заготовки в термічній дільниці при температурі в діапазоні 200-300°C. Відпуск - це процес, за якого після гартування металу його нагрівають до певної температури для зниження напружень і м'якшого стану, що дозволяє знизити крихкість та підвищити пластичність [25].

Етап 6. Чистова механічна обробка

Шліфування: На цьому етапі проводиться шліфування торців деталі відповідно до креслення, а також надається деталі необхідна шорсткість поверхні. Використовуються плоскошліфувальний станок, плита магнітна для закріплення деталі, і круг шліфувальний секторний. Після шліфування проводиться розмагнічування деталі за допомогою спеціального розмагнічувального приладу.

Легувальні елементи підвищують твердість сталі після відпалу, ускладнюють коагуляцію карбідів, тим самим ускладнюючи оброблюваність різанням. Тому чистова обробка залежить від структури сталі. Шліфованість інструментальних сталей є найважливішою технологічною властивістю, яка багато в чому визначає якість готового інструменту. Поведінка сталей при шліфуванні обумовлена властивостями абразивного матеріалу та структурою шліфованої сталі. Процес шліфування супроводжується значним підвищенням температури в зоні обробки, що призводить до розпаду мартенситу і створення додаткових напружень, що може призвести до утворення шліфувальних тріщин. Чутливість до утворення тріщин підвищує наявність залишкового аустеніту в структурі сталі [24, 25].

Шорсткість шліфованої поверхні залежить від карбідів і твердості сталі. Великі карбідні включення, що виходять на поверхню, можуть виламуватися. Зменшення карбідної неоднорідності ледебуритних сталей з балла 7-8 до 4-5 дозволяє зменшити висоту мікронерівностей майже вдвічі. При зниженні твердості внаслідок обезвуглецювання поверхневого шару шорсткість поверхні погіршується на 2 класи [25].

Свердління та розточування: На цьому етапі проводиться свердління та розточування деталі для виготовлення отворів на спеціальному верстаті відповідно до креслення. Використовується верстатна дільниця з необхідними інструментами для обробки отворів.

Токарна обробка: На цьому етапі проводиться обточування діаметрального розміру деталі на токарно-гвинторізному верстаті з використанням різців прохідних та підрізних.

Фрезерування: На цьому етапі проводиться фрезерування контуру матриці відповідно до креслення на горизонтально-фрезерному верстаті з використанням фрез.

Ерозія: На цьому етапі проводиться відпалювання недофрезованих частин контуру матриці на ерозійному верстаті з використанням магнітного столу.

Іскрова ерозія: На цьому етапі проводиться вирізання контуру матриці на іскровому верстаті, що дозволяє точно та швидко виготовляти складні геометричні форми.

Етап 7. Вихідний контроль

Контроль геометричних розмірів: На цьому етапі проводиться контроль геометричних розмірів виготовленої матриці. Для цього використовуються спеціалізовані дільниці контролю з вимірювальним інструментом, таким як мікрометри, калібри, шаблони тощо. Також можуть використовуватись зразки шорсткості згідно з ГОСТ 9378-93 для перевірки шорсткості поверхонь матриці.

Перевірка відповідності виробленої матриці стандартам та вимогам: На цьому етапі проводиться перевірка відповідності виготовленої матриці стандартам та вимогам, включаючи геометричні та технічні параметри. Використовуються інструменти для вимірювання, такі як мікрометри, калібри, шаблони, вимірювальні прилади для перевірки діаметрів, глибин, відстаней тощо.

Висновки

Серед багатьох методів виготовлення матриць було обране найбільш універсальний та найпоширеніший метод – кування. Сутність цього методу полягає в тому, щоб нагріти метал до високої температури, після чого його обробляють на металообробному обладнанні, такому як кувальний молот або прес. Сталь має бути підготовлена перед куванням.

Маршрутна технологія складається з наступних послідовних кроків: отримання чавуну, отримання сталі; отримання заготовки; попередня термічна обробка; чорнова механічна обробка; остаточна термічна обробка; чистова механічна обробка; вихідний контроль.

Після чистової механічної обробки проводиться остаточний контроль якості, який включає перевірку розмірів деталі. В результаті цього контролю якості переконуються, що деталь відповідає всім вимогам і може бути використана в певному виробі, тобто вирубному штампі.

Технологічний процес повинен забезпечувати виконання всіх вимог до точності та якості деталі в цілому, зазначених у кресленнях і технічних умовах. Вони повинні бути реалізовані з мінімальними трудовитратами і мінімальними витратами.

РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Термічна обробка деталі «матриця вирубного штампу»

Термічна обробка – сукупність технологічних операцій, пов'язаних з нагріванням, витримкою і охолодженням з метою зміни в потрібному напрямку механічних, фізико-хімічних і технологічних властивостей без зміни основних розмірів і форми деталей або заготовки [26].

Технологічний процес виготовлення деталі «матриця вирубного штампу» включає попередню термічну обробку, чорнову механічну обробку, чистову механічну обробку, остаточну термічну обробку та доведення розмірів.

При виборі марки сталі було зазначено, що найбільш доцільно виготовляти матриці з низьколегованої високовуглецевої інструментальної сталі ХВГ, яка має значення критичних температур: $A_{C1} = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $A_{CМ} = 940\text{ }^{\circ}\text{C}$; $M_H = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14].

Сталь ХВГ за складом відноситься до заевтектоїдних, структура якої при кімнатній температурі складається з перліту та карбідів заліза (рис. 5.1).

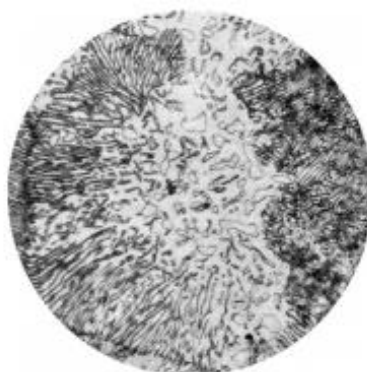


Рисунок 5.1 – Мікроструктура сталі ХВГ в початковому (вихідному) стані:
перліт, карбіди, x500

Попередня термічна обробка сталі – ізотермічний відпал, необхідна для підготовки структури до подальшої механічної обробки, створення структури зернистого перліту [26].

Попередня термічна обробка визначається як ключовий етап в оптимізації якості металу перед його формоутворенням. Цей процес виконує низку важливих завдань, таких як запобігання утворенню флокенів, усунення структурної та

хімічної неоднорідності, зниження вмісту газів у металі та мінімізація дендритної ліквідації. Часто використовується для підвищення структурної стабільності металу з метою зниження жолоблення виробів та розсіювання параметрів спотворення форми та розмірів [26].

Цей процес також служить для зниження твердості металу, усунення наклепу і нейтралізації залишкових напружень, що можуть виникати під час різних етапів формоутворення. Це сприяє підвищенню технологічності заготовок і допомагає покращити їхню оброблюваність. Попередня термічна підготовка структури металу перед фінальною термічною обробкою застосовується для оптимізації його властивостей та підвищення ефективності остаточного оброблення [25, 26].

Як попередня термічна обробка для заготовки матриці після застосовується відпал ізотермічний (780-800 °C). Ізотермічний відпал – це процес термічної обробки металів і сплавів, який включає нагрівання матеріалу до певної температури та утримання його за цієї температури впродовж певного часу, щоб забезпечити отримання однорідної структури і властивостей металів і сплавів [26].

Матриця вирубного штампу із сталі ХВГ нагрівається повільно до температури ізотермічного відпалу (780-800 °C) в печі (ДОДАТОК В). Потім утримується при цій температурі впродовж 1 год. Це дозволяє розподілити вуглець у структурі, зменшити напруження та вдосконалити властивості матеріалу. Після завершення утримання температури матриця повільно охолоджується на повітрі.

Після ізотермічного відпалу на зернистий перліт сталі ХВГ її структура – перліт і карбіди, твердість складає НВ 255 (рис. 5.2).

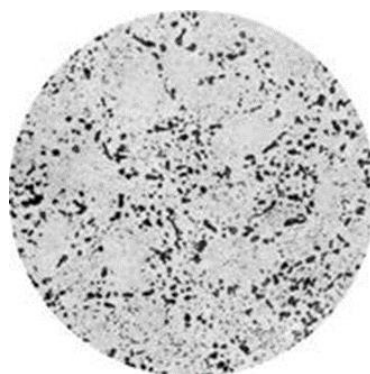


Рисунок 5.2 – Мікроструктура сталі ХВГ після ізотермічного відпалу: перліт + карбіди, x500

Після чорнової механічної обробки заготовку піддають остаточній термічній обробці - гартування (830 – 850 °С) та низький відпуск (200-300 °С).

Для матриць вирубних штампів метою остаточної термічної обробки є забезпечення стійкості робочих поверхонь проти зминання в умовах високих контактних тисків, що виникають під час експлуатації. Ця стійкість характеризується величиною межі текучості при стиску і залежить від тих самих факторів, що й твердість: концентрації вуглецю в мартенситі, кількості та дисперсності фаз-зміцнювачів (карбідів і інтерметалідів), а також кількості більш м'якої складової – залишкового аустеніту. Параметр межі текучості, більш ніж твердість, залежить від кількості залишкового аустеніту, особливо якщо його в структурі сталі більше 10 %. Проте слід враховувати, що реальна величина опору пластичній деформації робочого шару теплостійких сталей, до яких належить сталь ХВГ, може бути вище. Підвищення межі текучості є результатом перетворення частини залишкового аустеніту в поверхневому шарі під дією деформації. Це явище можна використовувати, якщо для обробки використовується метод обробки без видалення стружки – поверхнева пластична деформація (ППД) через обкатку робочої поверхні [26].

Другою важливою властивістю, яку необхідно забезпечити термічною обробкою, є стійкість до зношування. Ця властивість залежить не лише від структури та властивостей інструментальної сталі, але також від властивостей оброблюваного матеріалу: його твердості, створеного абразивного впливу, коефіцієнта тертя та температури у зоні тертя. Для пуансонів холодного деформування рівень стійкості до зношування залежить перш за все від твердості сталі, кількості та типу карбідних фаз у структурі. Сталь ХВГ містить карбіди типу M_3C (цементитний карбід) у кількості до 12 %. Завдання термообробки – забезпечити їх дисперсність та рівномірне розподіл по об'єму. Оскільки робота пуансонів для висадки характеризується підвищеними динамічними навантаженнями, дуже важливо зберегти під час гартування якнайдрібніше зерно (10-11 балів) і проводити відпуск в температурному інтервалі, при якому ще не відбувається перетворення залишкового аустеніту. Це дозволяє підвищити

в'язкість сталі і зменшити ймовірність відлущування матеріалу на робочих краях пуансона.

Гартування сталі — це термічна обробка, яка забезпечує підвищення твердості та міцності матеріалу [27]. Сталь марки ХВГ характеризується малою деформацією при гартуванні. При нагріванні для гартування матрицю попередньо підігрівають до 650-700 °С для забезпечення рівномірного прогрівання металу за перерізом деталі та зменшення часу витримки при високих температурах з метою зменшення ступеня окиснення та знеуглецювання поверхневого шару. Далі сталь піддається нагріванню до температури в межах 830 - 850 °С. Цей етап призначений для того, щоб весь об'єм матеріалу досягнув заданої температури для гартування [27].

При нагріванні сталі до 830 – 850 °С відбувається утворення аустеніту з дрібним зерном, завдяки наявності легувальних елементів хрому і вольфраму, і незначному перевищенню температури відносно A_{c1} ; карбіди заліза (цементит) практично не розчиняються, зберігаючи свої розміри і розподіл по об'єму. Наступне охолодження проводиться в маслі, так як легувальні елементи суттєво зменшують критичну швидкість гартування і підвищують одночасно прогартуваність сталі [27, 28].

Після досягнення потрібної температури сталь утримується при ній впродовж 1 год, щоб забезпечити однорідне прогрівання матеріалу. Цей час визначений в залежності від розміру та товщини матриці. Після утримання при температурі сталь швидко охолоджують, опускаючи її в масло. В результаті переохолоджений аустеніт зазнає мартенситного перетворення, яке відбувається по бездифузійному механізму і супроводжується поліморфним перетворенням з утворенням нової кристалічної ґратки (об'ємно-центрованої куб) ОЦК в яку впроваджені атоми вуглецю, що зумовлюють тетрагональність ґратки ($c/a > 1$). Поліморфне перетворення відбувається по сзувному механізму. Утворення мартенситу відбувається в температурному інтервалі початку (M_H) и закінчення (M_K) мартенситного перетворення. В зв'язку з тим, що температура M_K для заевтектоїдних сталей знаходиться нижче кімнатної, то в структурі сталі ХВГ після гартування

зберігається незначна (до 10 %) кількість залишкового аустеніту, який підвищує ударну в'язкість при загальній твердості сталі HRC 65 [26-28].

Масло забезпечує менш інтенсивне охолодження порівняно з водою, що дозволяє уникнути екстремального термічного шоку та зменшити ризик виникнення тріщин. Гартування в маслі призводить до того, що в матеріалі утворюється мартенситна структура, забезпечуючи високу твердість та міцність [9].

Після гартування сталі ХВГ її структура – мартенсит і карбіди (мартенсит з темними мартенситними голками та залишковими карбідами різних розмірів), HRC 63 - 65 (рис. 5.3).

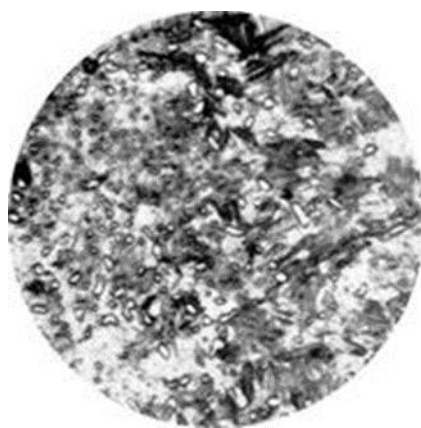


Рисунок 5.3 – Мікроструктура сталі ХВГ після гартування – мартенсит і карбіди, x500

Після гартування структура сталі складається з дрібноголчастого мартенситу, дисперсних карбідів заліза та залишкового аустеніту. Така структура є нестабільною, має підвищену крихкість і наявність залишкових структурних напруг. Тому безпосередньо після гартування проводять низький відпуск, при якому утворюється мартенсит відпуску, зменшуються внутрішні напруги і загальна твердість зменшується на HRC 2-3.

Низький відпуск є процесом термічної обробки, під час якого сталь піддається впливу порівняно низьких температур. Цей процес зазвичай використовується для поліпшення механічних властивостей матеріалу після гартування [17].

Матриця, яка вже пройшла гартування, нагрівається до температури відпуску. В даному випадку використовується низька температура відпуску, в діапазоні 200-

300 °C. Спочатку сталь піддається нагріванню. Це може займати певний час для досягнення заданої температури. Для забезпечення рівномірного прогрівання і завершення всіх процесів проводять ізотермічну витримку. Сталь утримується при вказаній температурі впродовж 2 год. Цей процес сприяє відновленню міцності. Після завершення відпуску сталь охолоджують на повітрі. Низький відпуск призводить до зменшення напружень та підвищення пластичності матеріалу, зберігаючи при цьому деяку твердість [26, 27].

Після низького відпуску сталі ХВГ її структура – мартенсит і карбіди, твердість HRC 58 - 62 (рис. 5.4).

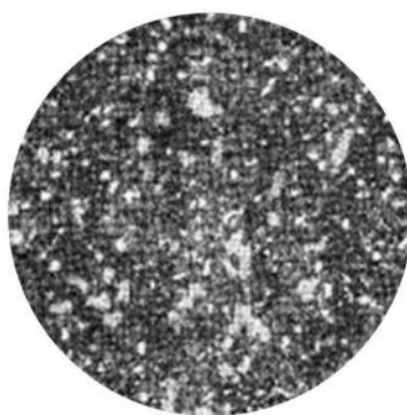


Рисунок 5.4 – Мікроструктура сталі ХВГ після відпуску низького – мартенсит і карбіди, х500

Після остаточної термічної обробки проводиться контроль властивостей матриці, зокрема, вимірюється твердість та міцність. Цей етап дозволяє переконатися, що властивості відповідають вимогам.

Графік термічної обробки матриці вирубного штампу із сталі ХВГ наведено у ДОДАТКУ В.

5.2 Вибір необхідного обладнання для отримання деталі «матриця вирубного штампу»

Обладнання термічних цехів поділяється на дві основні категорії: основне та допоміжне. Основне обладнання використовується для проведення технологічних операцій, пов'язаних з нагріванням та охолодженням деталей. До цього входять

печі, нагрівальні установки, охолоджувальні пристрої, такі як загартовані баки, гартовані машини, та обладнання для глибокого охолодження. Основне обладнання також включає засоби для виконання додаткових технологічних операцій, таких як правка та очищення деталей. До цього відносяться правильні преси та очисні установки, такі як травильні ванни, піскоструминні та дробоструминні апарати, мийні машини та інше обладнання для виконання таких завдань [29].

До складу допоміжного обладнання входять наступні елементи [29]:

1. Установки для приготування карбюратора та контрольованих атмосфер, теплоенергетичне обладнання:
 - включають пристрої для приготування карбюратора та контрольованих атмосфер.
 - теплоенергетичне обладнання включає пристрої для охолодження гартової рідини.
 - також враховує санітарно-технічне обладнання та повітродувки, серед інших.
2. Засоби механізації:
 - охоплюють підйомно-транспортне обладнання, таке як мостові та поворотні крани, котючі балки, монорейки з електротельферами, рольганги, транспортери, конвеєри тощо.

Це обладнання використовується в термічних цехах як допоміжні засоби, спрямовані на забезпечення ефективності виробничих процесів і забезпечення відповідних умов для технологічних операцій.

Основне обладнання:

1. Для проведення ізотермічного відпалу було обрано електричну шахтну піч СШЗ-6.6/10. Її параметри представлені в таблиці 5.1 і на рисунку 5.5.

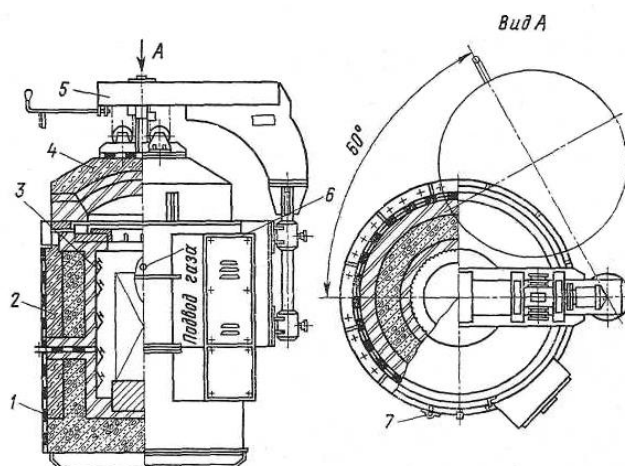


Рисунок 5.5 – Шахтна електрична піч з контрольованою захисною атмосферою СШЗ-6.6/10: 1 - кожух; 2 - футеровка; 3 - нагрівальні елементи; 4 - кришка; 5 - механізм підйому кришки; 6 - підведення електроенергії до нагрівальних елементів; 7 - трубка для відводу газу [30]

Таблиця 5.1

Технічна характеристика печі СШЗ-6.6/10 [29]

Потужність, кВт	Продуктивність, кг/год	Максимальна температура, °С	Розміри робочого простору, мм	Габаритні розміри, м		
				ширина	довжина	висота
50	80	1000	600×600	2,8	2,7	3,0

2. Для проведення гартування було обрано електричну шахтну піч СШЗ-6.6/10. Її параметри представлені в таблиці 5.1 і на рисунку 5.5.

3. Для проведення низького відпуску застосовується відпускна піч типу СШО 6.6/7 (рис. 5.6). Її параметри представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Технічна характеристика печі СШО 6.20/7 [29]

Потужність, кВт	Продуктивність, кг/год	Максимальна температура, °С	Розміри робочого простору, мм
36	80	700	600×600

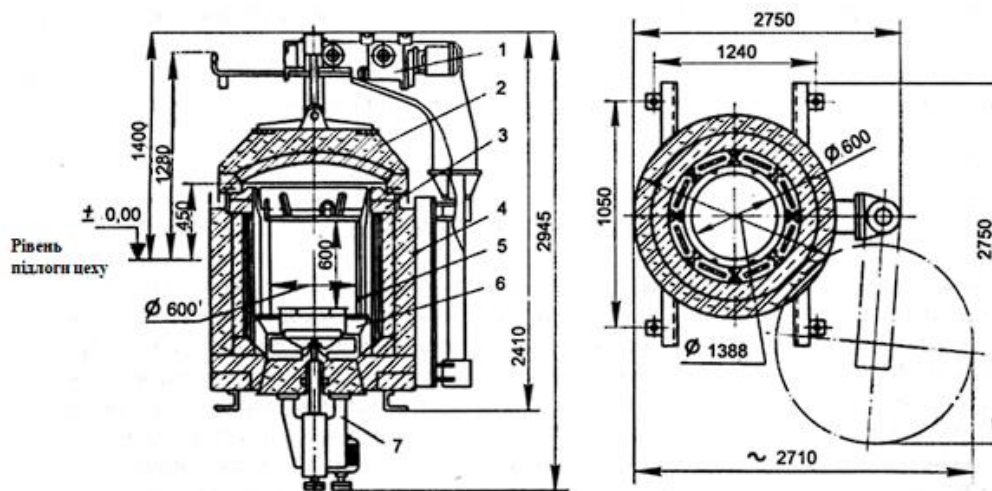


Рисунок 5.6 – Шахтна електропіч СШО – 6.6/7: 1 – механізм піднімання та опускання кришки; 2 – кришка; 3 – футерівка; 4 – каркас; 5 – кошик для виробів; 6 – підставка; 7 – вентилятор [30]

5.3 Розрахунок обладнання

Для виготовлення певного обсягу готової продукції необхідно враховувати кількість обладнання та устаткування. Для термічної обробки виробів у році потрібно розрахувати необхідну кількість обладнання. Це включає основні металургійні печі, а також ділянки контролю, проїзди, установки для карбюраторів, майстерні з ремонту устаткування та експрес-лабораторії для аналізу матеріалів.

Розрахунок річної виробничої програми термічної дільниці

Матриця: вага одиниці – 2,34 кг

Розрахунок кількості одиниць на рік:

$$P_i = N \cdot n_i \cdot \left(1 + \frac{z_i}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\delta_i^m + \delta_i^n + K_i^p}{100}\right) \quad (5.1)$$

де: N – кількість машин тих, що випускаються за рік, 70 000;

n_i – кількість деталей i -го найменування на одну машину, 1;

z_i – кількість запасних частин деталей i -го найменування, 5%;

δ_i^m – відсоток запасних деталей i -го найменування при термічній обробці, 2 %;

δ_i^n – відсоток бракованих деталей i -го найменування при термічній обробці, 1%;

K_i^p – відсоток деталей i -го найменування, які схильні до руйнівних методів контролю, 0%.

$$P_i = 75\,705 \text{ одиниць/рік.}$$

Розрахунок кількості кг на рік:

$$P_i = N \cdot n_i \cdot g_i \cdot \left(1 + \frac{z_i}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\delta_i^m + \delta_i^n + K_i^p}{100}\right) \quad (5.2)$$

де g_i – вага однієї деталі i -го найменування.

$$P_i = 177\,149 \text{ кг/рік.}$$

Приймаємо 177 т/рік

Визначення ефективності річного фонду часу праці устаткування

Номінальний фонд часу роботи обладнання становить:

$$\Phi_n = (365 - B - C)z\tau, \quad (5.3)$$

де: B – річна кількість вихідних днів;

C – кількість святкових днів, що не збігаються з вихідними;

z – кількість змін за добу;

τ – тривалість однієї зміни.

Для виконання заданої річної програми (127 тон деталей) обладнанню потрібно працювати в дві зміни.

Підставляючи данні у формулу (5.3.3), маємо, що номінальний фонд часу роботи обладнання складає:

$$\Phi_n = (365 - 98 - 8) \cdot 2 \cdot 8 = 4\,144 \text{ годин}$$

Ефективний річний фонд часу роботи обладнання за умови роботи з перервами визначають так:

$$\Phi_D^0 = \Phi_n \left(1 - \frac{\Pi + P}{100} \right), \quad (5.4)$$

де: Π – витрати часу на переналагодження обладнання, 2%;

P – витрати часу на ремонт обладнання, 4%

$$\Phi_e = 4\,144 (1 - 0,06) = 3\,895 \text{ годин}$$

Вибір і розрахунок необхідної кількості основного устаткування

При виборі обладнання слід орієнтуватися на передові технології, які гарантують високу продуктивність та механізований процес. Важливо використовувати поточкові лінії з оптимальною розстановкою обладнання, що відповідає послідовності технологічних операцій [31].

На основі розробленого процесу і режиму термообробки для забезпечення виконання технологічного процесу вибираємо наступне обладнання:

- СШЗ-6.6/10 (ізотермічний відпал);
- СШЗ-6.6/10 (гартування);
- СШО-6.6/7 (низький відпуск).

Характеристики даних печей наведено у таблицях 5.1-52.

Необхідні кількість годин для виконання даної програми для відповідної операції термообробки деталей i -го найменування складає:

$$E_i = \frac{\Pi_i}{P_i}, \quad (5.5)$$

де Π_i – річна програма термічної обробки виробів i -го найменування, кг, кількісно розрахована для даної операції;

P_i – продуктивність обраного обладнання для обробки деталей i -го найменування, кг/год.

$$\text{СШЗ-6.6/10: } 177000/80 = 2212 \text{ годин}$$

$$\text{СШЗ-6.6/10: } 177000/80 = 2212 \text{ годин}$$

$$\text{СШО 6.6/7: } 177000/80 = 2212 \text{ годин}$$

Розрахункова кількість одиниць обладнання K_p , потрібного для виконання заданої програми розраховуємо за формулою:

$$K_p = \frac{E_i}{\Phi_D^0}, \quad (5.6)$$

де Φ_D^0 – річний ефективний фонд часу роботи обладнання, год.

СШЗ-6.6/10: $2212/3 \ 895 = 0.57$ приймаємо 1 піч

СШЗ-6.6/10: $2212/3 \ 895 = 0.57$ приймаємо 1 піч

СШО 6.6/7: $2212/3 \ 895 = 0.57$ приймаємо 1 піч

Відношення K_p/K_n називають коефіцієнтом завантаження обладнання η , яких характеризує ефективність його використання.

Для печі СШЗ-6.6/10 - η становить 0,57

Для печі СШЗ – 6.6/10 - η становить 0,57

Для печі СШО-6.6/7 - η становить 0,57

Вибір і розрахунок необхідної кількості допоміжного обладнання

Робота печей вимагає наявності цілого комплексу додаткових установок. Основними комплектуючими [29], що забезпечують технологічний процес термічного зміцнення, є: мийно-сушильні машини; гартівні баки; транспортні механізми; прилади для вимірювання твердості.

Мийно-сушильні машини. Мийно-сушильні машини є важливою складовою процесу термічного зміцнення, забезпечуючи очищення та сушку деталей перед подальшою обробкою. Ці машини складаються з трьох основних секцій: промивки, споліскування та сушки. Мийно-сушильні машини забезпечують високу якість очищення та підготовки деталей, що є критично важливим для успішного проведення термічного зміцнення та інших виробничих процесів [29, 30].

Кількість мийно-сушильних машина, які використовуємо у виробництві складає 1 штука.

Гартівні баки. Гартівні баки є ключовими компонентами в процесі термічної обробки, призначеними для охолодження деталей після нагрівання. У цих баках використовуються охолоджувальні рідини, такі як вода і масло, для забезпечення швидкого та рівномірного охолодження, що дозволяє досягти бажаних механічних властивостей матеріалів. Гартівні баки складаються з наступних основних

компонентів і функціональних частин: корпус бака, охолоджувальна рідина, система охолодження рідини, теплообмінники, природна циркуляція, контроль температури, занурювальні кошики або тримачі, система очищення рідини. Гартівні баки забезпечують критично важливий етап у процесі термічної обробки, впливаючи на кінцеві механічні властивості оброблюваних матеріалів [29, 30].

Кількість гартівних баків, які використовуємо у виробництві складає 2 штуки.

Транспортні пристрої. Для переміщення та укладання деталей у печі, а також для проведення ремонтних робіт на термічній ділянці, використовується мостовий однобалочний кран із вантажопідйомністю 5 тонн ($Q = 5 \text{ т}$). Кран використовується для транспортування деталей від одного виробничого етапу до іншого, наприклад, від зони підготовки до печі або від печі до зони охолодження. Кран забезпечує можливість підйому і переміщення важкого обладнання та компонентів під час проведення ремонтних робіт на термічній ділянці, сприяючи швидкому і безпечному обслуговуванню [29, 30].

Кількість таких пристроїв у виробництві складає 1 штуку.

Прилади для вимірювання твердості. Для вимірювання твердості деталей після різних видів термічної обробки використовуються спеціальні прилади, зокрема твердоміри типу Роквелла та типу Бринелля. Ці прилади дозволяють точно визначити твердість матеріалів і оцінити якість проведеної термічної обробки.

Твердоміри типу Роквелла визначають твердість шляхом вдавлювання індентора (сталеві кульки або алмазного конуса) у поверхню деталі під певним навантаженням. Після зняття навантаження вимірюється глибина відбитка, яка є основою для розрахунку твердості [28-31]. Твердоміри типу Бринелля визначають твердість шляхом вдавлювання твердого кулькового індентора (зазвичай діаметром 10 мм) у поверхню матеріалу під заданим навантаженням. Після зняття навантаження вимірюється діаметр відбитка, який використовується для розрахунку твердості за формулою Бринелля. Використання твердомірів типу Роквелла (ТК – 1 шт.) та типу Бринелля (ТШ – 1 шт.) дозволяє отримати точну і надійну інформацію про твердість деталей після термічної обробки. Це важливо

для контролю якості і забезпечення відповідності продукції технічним вимогам [28, 29]. Зведена відомість обладнання наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Зведена відомість обладнання

Найменування обладнання	Тип	Призначення	Характеристика	Кількість	Потужність, кВт
Основне обладнання					
Піч шахтна	СШЗ-6.6/10	Відпал, Гартування	1000°C	2	50
Піч шахтна	СШО-6.6/7	Відпуск	700°C	1	36
Допоміжне обладнання					
Гартувальний бак	-	Охолодження	1000x1000 мм	2	-
Мийно-сушильна машина	-	Промивка від масла	1500x2000 мм	1	15
Заточний верстат	-	Зачистка лисок	1000x1500 мм	1	5
Рейковий електровізок	-	Переміщення вантажів між відділеннями	2000x2500 мм	1	20
Твердомір	ТК	Вимірювання твердості	HRC 30-65	1	0,3
Твердомір	ТШ	Вимірювання твердості	HВ 100-280	1	0,3
Мостовий кран	-	Переміщення виробів	Q = 5 т	1	-

5.4 Планування термічної дільниці

Термічні цехи у своєму складі включають виробничі дільниці; допоміжні склади; склади готової продукції та допоміжних матеріалів, пристосування; трансформаторні підстанції; також службові та побутові приміщення.

Площа складу змінюється відповідно до розміру та структури цеху, а також в залежності від характеру технологічних процесів та інших особливостей. Планування розміщення обладнання в цеху базується на наступних принципах [29-31]:

1. Використання компоновочної схеми для технологічного потоку, яка уникне перетину маршрутів руху оброблюваних виробів. Винятком можуть бути лише цехи індивідуального або дрібносерійного виробництва, але при цьому загальний напрямок вантажопотоку повинен бути однаковим.
2. Забезпечення можливості обслуговування та ремонту устаткування.
3. Організація взаємодії між операційним транспортом для оброблюваних виробів.

При розгортанні схеми розміщення обладнання слід враховувати, що печі мають бути розташовані паралельно зовнішнім стінам. Дільниці, де працює обладнання із токсичними речовинами чи видає шум, слід розміщувати в окремих приміщеннях, що ізольовані від печного залу. До такого обладнання відносяться дільниці для створення захисних атмосфер, установки для очищення матеріалів дробом та повітрорудвки високого тиску. Проїзди та коридори бажано розміщувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей у зовнішніх стінах [29-31].

Після розрахунку необхідної кількості обладнання проводимо планування термічної дільниці (ДОДАТОК Г).

Техніка безпеки при термічній обробці

Термічна обробка виробів включає різноманітні методи, які можна класифікувати за їхніми основними характеристиками. До власне термічних методів належать відпал I роду, відпал II роду, гартування без поліморфних

перетворень та гартування з поліморфними перетвореннями, відпуск при різних температурах. Елементи техніки безпеки при проведенні термічної обробки [33-36]:

- особистий захист: використання відповідного захисту, такого як спеціальний одяг, рукавички та захисні окуляри.
- контроль навколишнього середовища: забезпечення ефективної вентиляції та систем очищення повітря для зменшення концентрації шкідливих речовин.
- технічні засоби безпеки: використання автоматизованих систем моніторингу та сигналізації для реагування на потенційні аварійні ситуації.

Вимоги техніки безпеки до влаштування та встановлення електричних печей зведені до Правил пристрою електроустановок [32-34].

Весь інструмент, яким працює терміст, повинен бути у справному стані. Про помічені несправності в електрообладнанні та освітлювальній мережі терміст зобов'язаний негайно повідомити майстра або старшого за зміною. Кожен робітник термічного цеху повинен вміти надавати першу допомогу товаришу при поразці його струмом. Терміст повинен працювати у захисних окулярах та рукавицях, щоб не обпектися об гарячі деталі та інші нагріті предмети [32-36].

Висновки

Для виготовлення деталі «матриця вирубного штаму» було прийнято використовувати сталь ХВГ. Термічна обробка для даної сталі складається з ізотермічного відпалу, гартування і низького відпуску.

Відпал було проведено при певних температурах і тривалості для досягнення бажаної мікроструктури та властивостей сталі ХВГ. В процесі відпалу сталі ХВГ, що застосовується при температурі 700-800 °С для поліпшення механічних властивостей та стабілізації структури. Після ізотермічного відпалу сталі ХВГ її структура – перліт і карбіди (НВ 255).

Гартування сталі ХВГ було проведено при температурі 820 – 850 °С. Цей етап призначений для того, щоб весь об'єм матеріалу досягнув заданої температури для гартування. Після гартування сталі ХВГ її структура – мартенсит і карбіди (HRC 63-65).

Після гартування починається остання операція термічної обробки – відпуск. Дану операцію проводять для всіх сталей та сплавів, а також вона завжди є останньою. Це пов'язано з тим, що відпуск проводять з метою усунення внутрішніх напружень в сталі, та робить структуру цієї сталі більш рівномірною. Для сталі ХВГ було прийнято піддати сталь нагріву до 200 - 300 °С з витримкою впродовж 3 годин. Після відпуску сталі ХВГ її структура – мартенсит і карбіди (HRC 58-62).

Для проведення термічної обробки обрано відповідне обладнання. Для проведення ізотермічного відпалу і гартування було обрано шахтну піч СШЗ-6.6/10. Для проведення відпуску низького застосовується піч СШО-6.6/7.

Після розрахунку необхідної кількості обладнання проведено планування термічної дільниці.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі бакалавра був проведений аналіз умов експлуатації матриці вирубного штампу, розглянута маршрутна технологія виготовлення, визначені можливі причини пошкодження та втрати ефективності деталі, і розглянуто обґрунтування вибору матеріалу сталі ХВГ для виготовлення цієї деталі.

1. Розглянуті умови роботи матриці вирубного штампу. Матриця вирубного штампу є важливою деталлю в процесі масового виробництва металевих частин та виробів. Основне призначення матриці – забезпечити точність та репродукцію форми при виготовленні багатократних однакових деталей. Умови роботи включають великі тискові навантаження і багаторазове використання.

2. Проведений літературний огляд існуючих технологічних процесів виготовлення й зміцнення штампового інструменту, впливу матеріалу матриці на якість вирубного штампу та існуючих технологій термічної обробки матриці вирубного штампу.

3. Маршрутна технологія виготовлення заготовки та термічна обробка матриці вирубного штампу були ретельно розроблені з метою досягнення оптимальних експлуатаційних характеристик. Поетапний процес розробки технологічного процесу отримання деталі включав вибір матеріалу, підготовку сировини, плавлення сировини, додавання легувальних елементів, змішування і відпускання, аналіз і корекцію складу. Технологічний процес виготовлення штампового інструменту включає попередню термічну обробку, чорнову механічну обробку, чистову механічну обробку, остаточну термічну обробку, хіміко-термічну обробку, обробка поверхні та контроль якості також були враховані у процесі виготовлення втулки.

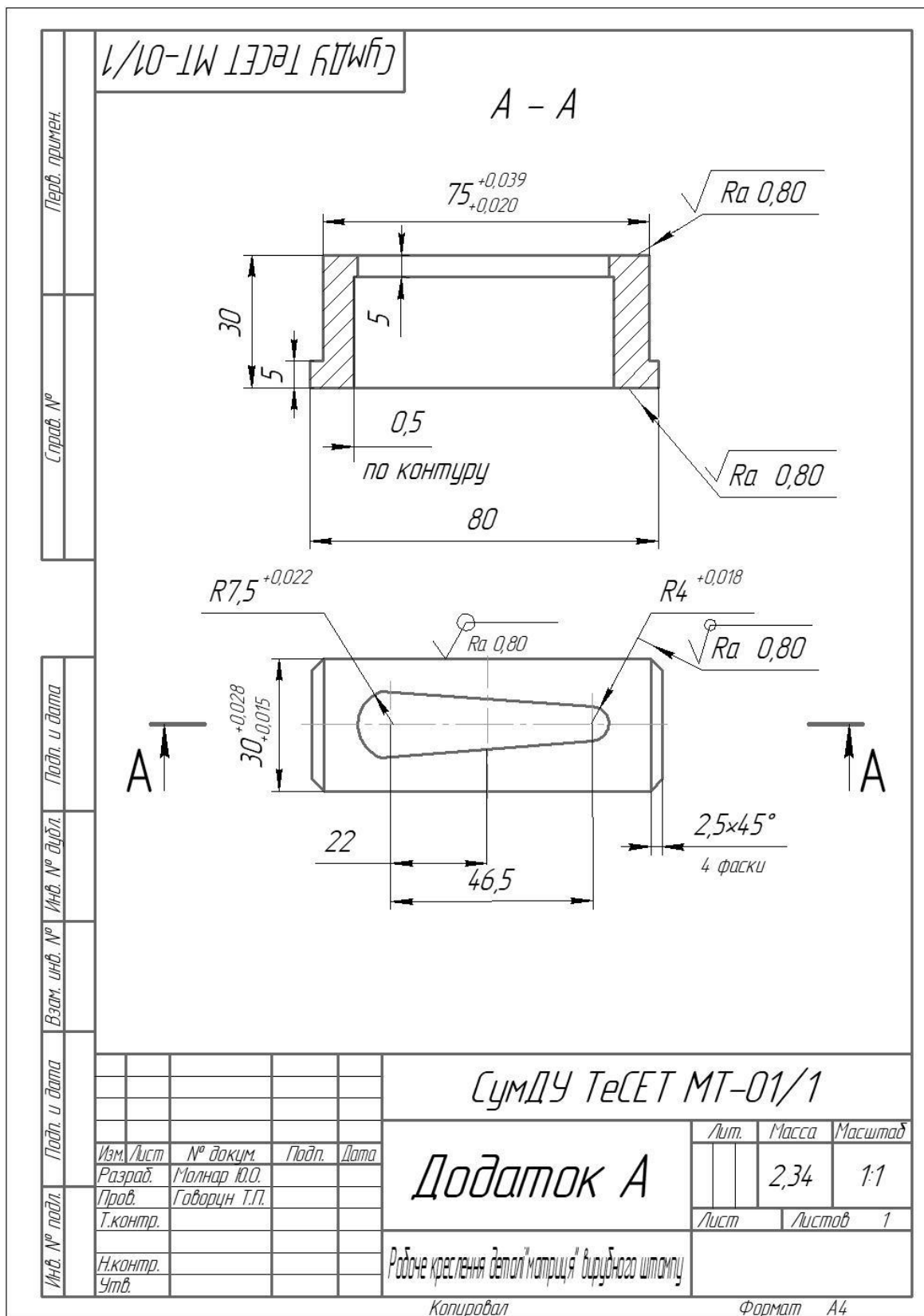
4. Як попередня термічна обробка для заготовки матриці після застосовується відпал ізотермічний (780-800 °С). Після чорнової механічної обробки заготовку піддають остаточній термічній обробці - гартування (830 – 850 °С) та низький відпуск (200-300 °С). Після розрахунку необхідної кількості обладнання проведено планування термічної ділянки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко М.В., Велика О.Т., Лясковська С.Є., Великий Т.І. Дослідження та оптимізація конструктивних параметрів матриці вирубного штампу. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип. 26.4. С. 255-260.
2. Основи матеріалознавства : навч. посіб. /автор- упоряд. Т. Боброва. Київ : Ресурс. центр ГУРТ, 2019. 104 с.
3. Мережко Н., Зіміна Н., Сіренко С. Матеріалознавство і технологія матеріалів : підруч. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2010. 352 с.
4. Punch and Matrix Archives. *E-Tech Components*. URL: https://etechcomponents.com/product_categories/punch-and-matrix/.
5. Спосіб виготовлення інструментів вирубних штампів лазерним випромінюванням : пат. UA 87366 U Україна : B23K 26/02 (2006.01). № u 2013 07722 ; заявл. 17.06.2013 ; опубл. 10.02.2014, Бюл. № Бюл.№ 3. 5 с.
6. Спосіб лазерного вирізання елементів вирубних штампів : пат. UA 137958 U Україна. № u 2019 04880 ; опубл. 11.11.2019, Бюл. № Бюл.№ 21. 6 с.
7. Femter S. Production processes and technologies for the creation of punching die matrices. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 3rd ed. 2016. P. 43–46.
8. Boljanovic V. *Sheet Metal Stamping Dies: Die Design and Die-Making Practice*. Industrial Press, 2012. 212 p.
9. Norger Y., Dynay A. Material Die Making Material grades. *Meusburger Normalienhersteller Werkzeugbau Formenbau Maschinenbau*. 4th ed. 2020. P. 156–177.
10. Dornfeld D., Altan T., Geiger G. Measures to prevent deformation and cracking of the heat treatment stamp. *Epower Metals*. 2012. No. 7. P. 68–76.
11. Panvini A., Cecchel S., Cornacchia G. Low Solution Temperature Heat Treatment. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2018. Vol. 13. P. 5–9.
12. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371 с.

13. ДСТУ 3953 – 2000. Прутки, смуги та мотки із інструментальної легованої сталі. Загальні технічні умови. Вид. офіц.
14. Електронний ресурс http://www.splav-kharkov.com/choose_type.php.
15. Lim Y., Venugopal R., Ulsoy A.G. Process Control for Sheet-Metal Stamping: Process Modeling, Controller Design and Shop-Floor Implementation (Advances in Industrial Control). Springer, 2014. 140 p.
16. Куцова В., Ковзель В., Носко О. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. : підручник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2008. 348 с.
17. Materials science and engineering : an introduction / William D. Callister, Jr.— 7th ed./Printed in the United States of America, 2017. 975 p.
18. Говорун Т. П. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) : навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 163 с.
19. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 / Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 86 с.
20. Електронний ресурс <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/28/5-28-139.pdf>.
21. Пчелінцев В.О. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч. 1. Випробування металів / укладачі: В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Суми : Сумський державний університет, 2015. 53 с.
22. Електронний ресурс <http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/tverdomery/tverdomer-tr-5006>.
23. Бойко М. В. Дослідження та оптимізація конструктивних параметрів матриці вирубного штампу / М. В. Бойко, О. Т. Велика, С. Є. Лясковська, Н.-Т. І. Великий // Науковий вісник НЛТУ України. - 2016. - Вип. 26.4. - С. 255-260.
24. Дяченко С.С., Дощечкіна І.В., Мовлян А.О., Плешаков Е.І. Матеріалознавство. Підручник. – Харків.: Видавництво ХНАДУ, 2007.-440 с.
25. Основи матеріалознавства : навч. посіб. /упоряд. Т. Боброва. Київ, 2017. 342 с.

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1

Технологічний процес виготовлення деталі «матриця вирубного штампу»

№ операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне і допоміжне обладнання
1	2	3	4	5
Етап 1. Металургійне отримання сталі				
1.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо видобувний комплекс
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо видобувний комплекс, коксохімічний комбінат
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс
1.2		1	Підготовки шихти	Шихтовий двір, магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи, регенеративні теплообмінники

		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех, доменна піч
		4	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення, міксери
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів до конвертеру, залиття рідкого чавуну	Конвертерна піч, мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч, фурма
		3	Зливання сталі та шлаку. Отримання зливку.	Конверторна піч, ковші, виливниці.
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів до електродугової печі	Електродугова піч, мульди, ковші.

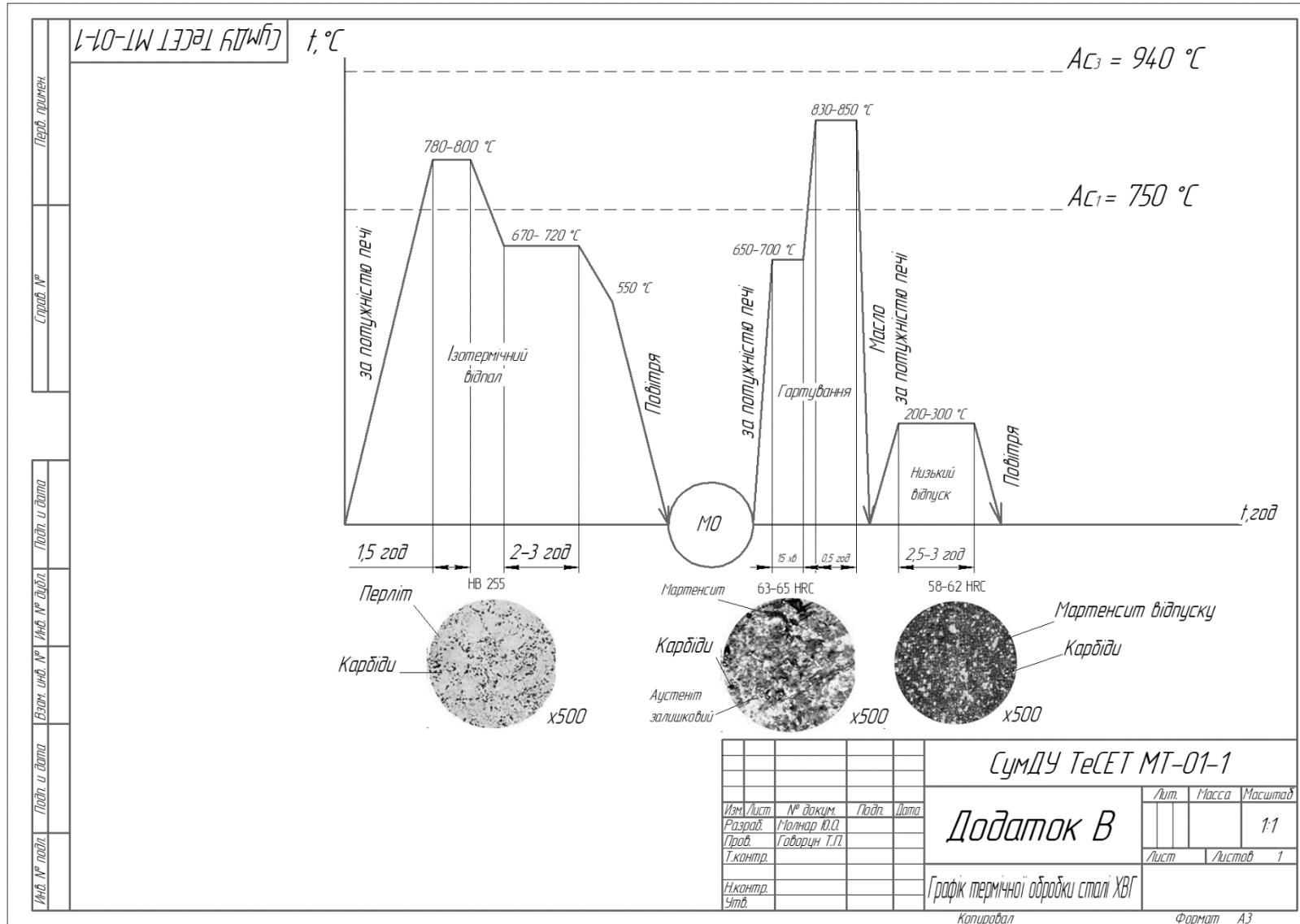
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугова піч
		6	Виливання сталі в розливочний ківш	Плавильне відділення, електродугової печі, розливочний ківш, мостовий кран
Етап 2. Отримання заготовки				
2.1	Отримання заготовки	1	Розрізання прокату на мірні заготовки	Фрезерний верстат, дискова фреза
2.2	Кування	1	Обробка заготовки тепловою обробкою	Кузнечна дільниця, кузнечна піч.
2.3	Контроль	1	Контроль розмірів і дефектів	Дільниця контролю, вимірювальний інструмент, ультразвуковий дефектоскоп.
Етап 3. Попередня термічна обробка				
3.1	Попередня термічна обробка	1	Ізотермічний відпал (780-800°C)	Термічна дільниця,

				електрична камерна піч
3.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю, твердомір ТШ-2, індентор
Етап 4. Чорнова механічна обробка				
4.1	Стругання	1	Обробка поверхні заготовки на стругальному верстат	Стругальна дільниця, стругальний верстат
4.2	Токарна	1	Обточування торців та діаметрального розміру з припуском з обох боків	Токарно-гвинторізний верстат, різці прохідні і підрізні.
4.3	Фрезерування	1	Свердління базових отворів	Горизонтально фрезерний верстат, свердло на 16 та на 12
		2	Фрезерування контуру матриці	Горизонтально фрезерний верстат та фрези
		3	Шліфування нижньої та верхньої поверхні; двох бокових поверхонь	Шліфувальний верстат
Етап 5. Остаточна термічна обробка				

5.1	Гартування	1	Гартування (830 - 850°C)	Термічна дільниця
5.2	Відпуск	1	Відпуск низький (200-300°C)	Термічна дільниця
Етап 6. Чистова механічна обробка				
6.1	Шліфування	1	Шліфування торців деталі у відповідності до креслення, надання деталі необхідної шорсткості	Плоскошліфувальний станок, плита магнітна, круг шліфувальний секторний
		2	Розмагнічування	Розмагнічувальний прилад
6.2	Свердління та розточування	1	Виготовлення отворів на спеціальному верстаті.	Верстатна дільниця
6.3	Токарна	1	Обточування діаметрального розміру	Токарно-гвинторізальний верстат, різці прохідні та підрізні
6.4	Фрезерування	1	Фрезерування контуру матриці відповідно до креслення	Горизонтально – фрезерний верстат, фрези
6.5	Ерозія	1	Відпалювання недофрезованих	Ерозіційний верстат, магнітний стіл

			частин контуру матриці	
6.6	Іскрова ерозія	1	Вирізання контуру матриці	Іскровий верстат
Етап 7. Вихідний контроль				
7.1	Контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю, вимірювальний інструмент, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75.
		2	Перевірка відповідності виробленої матриці стандартам та вимогам	Дільниця контролю, інструменти для вимірювання

ДОДАТОК В



ДОДАТОК Г

