

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 деталі та технологічного процесу зміцнення деталі «матриця» штампу холодного деформування

Виконав:

студент Кошельник Олександр
Олексійович

Керівник:

завідувач кафедри
Гапонова Оксана Петрівна

Залікова книжка

№ 19510032

Підпис _____

Підпис _____

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК

Оцінка, дата

Прізвище, підпис

Марченко К. С.

Суми 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних
матеріалів
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант Освітньої програми
«Прикладне матеріалознавство»
Харченко Н. А.
«18» квітня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Кошельнику Олександрю Олексійовичу, група МТ-91/1
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення деталі та технологічного процесу зміцнення деталі «матриця» штампу холодного деформування.

2. Вихідні дані: Креслення інструменту та вимоги до нього вказані на кресленні (додаток А)

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу

- 1) Креслення деталі.
- 2) Графік термічної обробки деталі
- 3) План розробленого термічного відділення.

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1. Аналіз умов роботи деталі	X			
2	Розділ 2. Огляд літератури	X			
3	Розділ 3. Вибір матеріалу та роль легувальних елементів у забезпеченні експлуатаційних властивостей		X		
4	Розділ 4. Маршрутна технологія виготовлення деталі. Характеристика етапів технологічного процесу			X	
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина				X

5. Дата видачі завдання 17.04.2023р.

Керівник _____

Гапонова О. П.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота рівня «бакалавр» містить: кількість сторінок – 51, кількість таблиць - 9, кількість рисунків – 10, кількість джерел літератури – 37.

Мета роботи: ґрунтуючись на аналізі умов експлуатації деталі «матриця» вирубного штампу, запропонувати матеріал для виготовлення деталі та технологічний процес виготовлення виробу.

Завдання:

- проаналізувати умови роботи деталі;
- проаналізувати літературні джерела щодо способів зміцнення штампового інструменту;
- раціонально обрати матеріал для виготовлення деталі;
- розробити технологічний процес виготовлення та термічної обробки виробу;
- обрати основне обладнання для термічної обробки.

Методи дослідження – металографічні методи дослідження структури поверхневого шару сталей, випробування на твердість та випробування на міцність.

Ключові слова: МАРТРИЦЯ ВИРУБНОГО ШТАМПУ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, БОРОСИЛЦЮВАННЯ, СТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ	7
1.1. Характеристика умов роботи виробу	7
1.2. Можливі причини виходу з ладу штампового інструменту	9
Висновки.....	11
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	13
2.1. Аналіз існуючих технологій зміцнення штампового інструменту.....	13
2.2. Азотування в тліючому розряді (іонне азотування)	16
2.3. Борування інструменту	18
Висновки.....	19
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА РОЛЬ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	21
Висновок	24
РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕТАПІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	26
Висновок	27
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	28
5.1. Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу термічної обробки	28
5.2. Методика експерименту	33
5.3. Дослідницька частина	34
5.4. Вибір основного та допоміжного обладнання	38
5.5. Техніка безпеки при термічній та хіміко-термічній обробці	41
Висновок.....	45
ВИСНОВОК	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Машинобудування – основа технічного прогресу. Створення нових типів високопродуктивних, економічних та надійних в експлуатації машин потребує застосування високоміцних матеріалів та вдосконалення методів їх обробки.

Як відомо, стійкість інструментів для обробки металів та інших матеріалів багато в чому зумовлює продуктивність машинобудівних підприємств. У зв'язку з цим застосування найпрогресивніших інструментальних сталей, що забезпечують максимально можливу стійкість інструментів різного призначення, а також правильне використання їх з урахуванням виду обробки та типу оброблюваних матеріалів є важливим народногосподарським завданням.

Штампи для холодного деформування працюють в умовах високих змінних навантажень, виходять з ладу внаслідок крихкого руйнування, малоциклової втоми та зміни форми та розмірів за рахунок зминання (пластичної деформації) та зносу. Тому сталі, що використовуються для виготовлення штамів, що пластично деформують метал при нормальних температурах, повинні мати високу твердість, зносостійкість і міцність, що поєднується з достатньою в'язкістю. У процесі деформування з більшою швидкістю штампи розігріваються до 200-350 °С, тому сталі цього класу повинні бути теплостійкими. Для великих штамів необхідно забезпечити високу прогартованість і невеликі об'ємні зміни при гартуванні. Якщо в процесі термічної обробки відбувається жолоблення складної конфігурації штампу, необхідно проводити доведення штампу до необхідних розмірів,

Інструмент для деформування металу в холодному стані повинен мати високу твердість (практично не нижче за HRC 58). У ряді випадків висока твердість (вище за HRC 62) забезпечує і більш високу стійкість у роботі. Тому для такого роду інструменту застосовують сталі із вмістом вуглецю не менше 1% у стані низьковідпущеного мартенситу, тобто після гартування та низького відпуску. Для таких інструментів застосовують сталі У8-У12.

З вуглецевої сталі марок У10, У11, У12 виготовляють штампи невеликих розмірів і простої конфігурації через неглибоку прогартованість, їх слід застосовувати для відносно легких умов роботи (малий ступінь деформації, невисока твердість матеріалу, що штампується). Для складніших змін штампів і більш важких умов роботи застосовують леговані загартовані в маслі (більшої прогартованості) сталі – найчастіше сталь Х (ШХ 15), ХВСГ, Х12М.

Найбільш прогресивними методами зміцнення металів є хіміко-термічна обробка. Удосконалення технології хіміко-термічної обробки дозволяє підвищити міцність та довговічність деталей машин, замінити дорогі леговані сталі більш простими та дешевими.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ

1.1. Характеристика умов роботи виробу

Умови роботи штампового інструменту як для холодного, так і для гарячого деформування характеризуються величиною питомих тисків, характером навантаження і температурою розігріву робочих частин.

Інструмент холодного деформування у тому числі вирубні штампи працюють при високих питомих тисках до 2200-2500 МПа та при температурах розігріву ріжучих кромek до 150-200°C штампування м'яких матеріалів та до 400-500°C при деформуванні високоміцних матеріалів.

В результаті вирубки (пробивки) відбувається відділення однієї частини металу від іншої аналогічно процесу різання ножицями, але по замкнутому контуру (рис. 1.1).

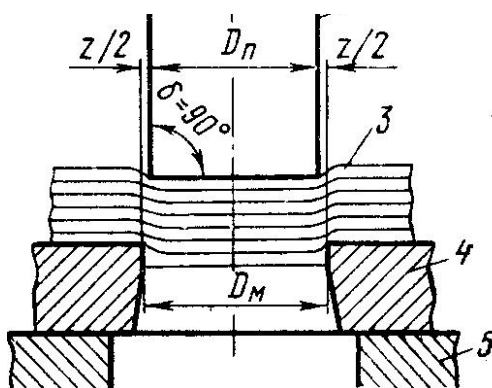


Рисунок 1.1 – Схема вирубни на штампі: 1 – повзун; 2 – пуансон; 3 – заготівля; 4 – матриця; 5 – стіл преса [1]

На початку вдавлювання пуансону 2 в заготовку 3 остання прогинається; поблизу ріжучих кромek пуансона і матриці 4 створюється концентрація напружень, що викликає перебіг металу заготівлі та утворення зони зминання. Це місцеве зминання розвиватиметься до тих пір, поки по всій товщині заготовки не виникнуть напруження, достатні для утворення лінії ковзання. В результаті цих явищ розвивається деформація зсуву, що супроводжується вигином і розтягуванням, аж до початку утворення тріщин, що сколюють. При подальшому вдавлюванні пуансона біля ріжучих кромek пуансона і матриці на

металі виникають сколювальні тріщини. Ці тріщини спрямовані під деяким кутом до поверхні листа і для того, щоб вони збіглися, необхідний певний проміжок між пуансоном і матрицею.

Після збігу тріщин, що сколюють, відбувається роз'єднання вирубуваного контуру. Для остаточного видалення вирубанної деталі або відходу (при пробиванні) необхідно подолати опір тертю, що виникає між поверхнями зрізу взаємно зміщених частин, а також між бічною поверхнею деталі, що вирубується (відходу при пробиванні) і поверхнею прохідного отвору матриці.

Зусилля, необхідне для вирубування або пробивання, залежить від товщини і механічних властивостей матеріалу, периметра розрізки, форми різальних крайок пуансона і матриці (які можуть бути плоскими або скошеними), величини зазору між пуансоном і матрицею, а також стану різальних крайок штампу.

Застосовувані для холодного штампування штампи є досить складним інструментом, що працює під великими періодично змінними навантаженнями. На стійкість штампів впливають різні фактори, основні з яких такі [2]:

- 1) механічні властивості та стан матеріалу, що штампується;
- 2) конфігурація та розміри деталі за контуром, товщина матеріалу;
- 3) технологічність конструкції деталі;
- 4) технологічні особливості операцій;
- 5) конструктивні особливості штампів;
- 6) матеріали для штампів, термічна та хіміко-термічна їх обробка;
- 7) технологія та якість виготовлення та складання деталей штампів;
- 8) тип та стан пресового обладнання;
- 9) умови експлуатації штампу (що включають мастило матеріалу та штампу) та характер організації штампового господарства.

Залежно від наведеного вище, при проектуванні, виготовленні та експлуатації штампів дуже важливо врахувати вплив цих факторів на стійкість штампів і розробити відповідні заходи щодо підвищення їх стійкості.

1.2. Можливі причини виходу з ладу штампового інструменту

Як відомо [3] найбільш важконавантаженими операціями обробки тиском є операції об'ємного штампування та різання (вирубубання, пробивання). Внаслідок великих питомих тисків, складнонапруженого стану та високих температур розігріву робочих частин інструментів у процесі роботи стійкість останніх у багатьох випадках є незадовільною.

Однією з основних причин низької працездатності важконавантажених інструментів для холодного деформування є крихке руйнування. Так само як і для інших операцій штампування, передчасні поломки інструментів зазначеного призначення пов'язані у ряді випадків з випадковими навантаженнями, які можливі навіть при незначних, на перший погляд, відступах від технології та особливо небезпечні для інструментів з конструктивно неминучими концентраторами напружень. Слід зазначити, що виходу з ладу передують певний, іноді тривалий (1500-15000 штампувань) період експлуатації. Остання обставина свідчить про те, що тенденція руйнування інструментів обумовлено в основному не недостатнім вихідним міцністю і пластичністю штампових сталей, а певними змінами їх структури в процесі деформування.

У таблиці 1 наведено найпоширеніші причини виходу з ладу штампового інструменту.

Однією з причин, що призводять до поступового зростання напружень, що діють на інструмент, може бути зміна його геометрії через зминання і знос. Отже, існує взаємозв'язок таких, здавалося б, різнорідних характеристик, як ймовірність крихкого руйнування, зносостійкість, опір малим пластичним деформаціям та теплостійкість штампових сталей.

Таблиця 1.1

Причини виходу з експлуатації деталі [4]

Дефект	Причина	Заходи усунення
Блискучі сліди на бічній частині штампованої деталі	Пуансон змістився щодо матриці	Встановити пуансон так, щоб його вісь збіглася з віссю отвору матриці
Задири на штампованих деталях	Зазор між пуансоном та матрицею не відповідає товщині матеріалу.	Збільшити зазор
	Недостатня жорсткість матриці	Хромувати або азотувати пуансон та матрицю
Розрив металу на циліндричній частині деталі. Фланець деталі має блискучі сліди	Великий тиск притиску	Зменшити тиск притиску
Розрив металу при наступній витяжці	Те саме	Те саме
Відрив дна деталі при наступній витяжці	Те саме	Те саме
Складки на фланці та зморшки на стінках відштампованої деталі. При витяжці порожнистого циліндра без фланця виходить скошений торець	Застосовується невідповідне мастило	Замінити мастило
	Ослаблення тиску притиску	Збільшити тиск притиску
	Зазор між пуансоном та матрицею нерівномірний	Зробити зазор рівномірним
	Виштовхувач малий за діаметром	Збільшити діаметр виштовхувача
Хвилястість чи зморшки на стінках прямокутної чи несиметричної деталі	Розміри заготовки неправильні	Уточнити розміри заготовки за кресленням та шаблоном

Продовження таблиці 1.1

Дефект	Причина	Заходи усунення
Розрив болтів, що використовуються для закріплення пуансону або матриці, під час пресування	Зазор між пуансоном і матрицею менше товщини металу, що штампується.	Збільшити кількість стрижнів притиску. Збільшити зазор між пуансоном та матрицею

Однією з причин, що призводять до поступового зростання напружень, що діють на інструмент, може бути зміна його геометрії через зминання і знос. Отже, існує взаємозв'язок таких, здавалося б, різнорідних характеристик, як ймовірність крихкого руйнування, зносостійкість, опір малим пластичним деформаціям та теплостійкість штампових сталей.

Можливими причинами виходу з ладу матриці вирубного штампу сталі ХВГ можуть бути: при штампуванні сталі 20, товщиною 0,8 мм матриця працює у важких умовах. Для підвищення зносостійкості необхідне проведення хіміко-термічної обробки.

На стійкість штампу значний вплив надають вид, властивості та стан матеріалу, що штампується.

Висновки

Розглянуті умови роботи штампового інструменту. Штамповий інструмент як для холодного, так і для гарячого деформування характеризуються величиною питомих тисків, характером навантаження і температурою розігріву робочих частин. Інструмент холодного деформування у тому числі вирубні штампи працюють при високих питомих тисках до 2200-2500 МПа та при температурах розігріву ріжучих кромки до 150-200°C штампування м'яких матеріалів та до 400-500°C при деформуванні високоміцних матеріалів.

На стійкість штампів впливають різні фактори, основні з яких: механічні властивості та стан матеріалу, що штампується; конфігурація та розміри деталі за контуром, товщина матеріалу; технологічність конструкції деталі;

технологічні особливості операцій; конструктивні особливості штампів; матеріали для штампів, термічна та хіміко-термічна їх обробка; технологія та якість виготовлення та складання деталей штампів; тип та стан пресового обладнання; умови експлуатації штампів (що включають мастило матеріалу та штампів) та характер організації штампового господарства.

Однією з основних причин низької працездатності важконавантажених інструментів для холодного деформування є крихке руйнування. Так само як і для інших операцій штампування, передчасні поломки інструментів зазначеного призначення пов'язані у ряді випадків з випадковими навантаженнями, які можливі навіть при незначних, на перший погляд, відступах від технології та особливо небезпечні для інструментів з конструктивно немінучими концентраторами напружень. В роботі наведено найпоширеніші причини виходу з ладу штампового інструменту.

Однією з причин, що призводять до поступового зростання напружень, що діють на інструмент, може бути зміна його геометрії через змінання і знос.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1. Аналіз існуючих технологій зміцнення штампового інструменту

Статистика та дослідження багатьох вчених [5, 6] показують, що більшість руйнувань у техніці починається з поверхні. Властивості поверхневого шару дуже впливають на міцність і довговічність конструкційних елементів і машини в цілому. Багато вузлів і деталей сучасних машин і обладнання працюють в екстремальних умовах (високі температури, агресивні середовища, великі динамічні навантаження, радіоційне опромінення та ін.), які висувають нові вимоги до властивостей поверхні, методів їх розрахунку на міцність і довговічність [6, 7], і зумовлюють застосування дорогих тугоплавких і корозійностійких матеріалів і сплавів, що забезпечують високі експлуатаційні характеристики. Одним з перспективних та економічних способів вирішення даного завдання є нанесення зміцнювальних захисних покриттів (ЗЗП), які дозволяють захистити конструкційний матеріал від впливу середовища та високих температур, або зміцнити поверхню за збереження менш міцної серцевини [8].

Різноманітність умов експлуатації машин, обладнання та інструменту для забезпечення їх високої надійності та довговічності потребує створення робочих поверхонь з різними фізико-механічними характеристиками. Цим і обумовлено існування в даний час великої кількості видів поверхневого зміцнення та ЗЗП із різними фізико-механічними властивостями. Ефективність їх застосування багато в чому залежить від правильності вибору типу, технології нанесення та фізико-механічних параметрів покриття (товщини, твердості, градієнта властивостей за глибиною, корозійною стійкістю, теплостійкістю та ін.). Невиконання цих умов призводить не тільки до зниження ефективності застосування ЗЗП, але навіть до зниження конструкційної міцності та довговічності виробу за рахунок знеміцнення основи [9]. У кожному окремому випадку потрібен індивідуальний підхід до розробки параметрів покриття. Максимальний ефект від застосування ЗЗП

можливий лише за оптимального поєднання фізико-механічних властивостей покриття та матеріалу основи для конкретних умов експлуатації.

Серед великої кількості типів ЗЗП та зміцнень найбільше поширення в техніці мають дифузійні покриття, які отримують методом хіміко-термічної обробки (ХТО). Практично при ХТО можна формувати покриття різного складу із широким діапазоном властивостей. Міцність та довговічність матеріалів з покриттями багато в чому залежить від технології нанесення покриття та її керованості. Проте, більшість процесів ХТО у традиційному виконанні має велику тривалість, що спричиняє перегрів та погіршення структури та властивостей металу, значне жолоблення виробів, велику витрату енергії та ресурсів. Застосовувані водневмісні середовища (суміші з аміаком) часто призводить до водневого окрихчення, значної втрати конструкційної міцності основного металу і погіршення екологічної обстановки. Тому дуже важливим є питання застосування прогресивних ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій нанесення покриттів методом ХТО із застосуванням електричних розрядів, лазерних променів, прискорених частинок та інших методів. До таких найбільш перспективних технологій належить азотування в тліючому розряді (іонне азотування).

Композиція "основний метал-покриття" слід розглядати як єдине ціле [10], так як питання впливу покриттів на конструкційну міцність виробу в цілому значно складніше, і не може бути вирішене простим дослідженням структури та властивостей лише покриттів.

При дослідженні властивостей із захисними покриттями встановлено, що необхідно враховувати цілу низку особливостей, що вносяться наявністю захисного покриття [11], які можна поділити на три групи:

- 1) наявність двох видів зв'язків: когезійної та адгезійної;
- 2) особливості, пов'язані з відмінністю фізичних та хімічних властивостей матеріалів основи та покриття. Так модулі пружності основи і покриття можуть відрізнятися в чотири-п'ять разів [12], мікротвердість у два-три рази [13], коефіцієнт лінійного температурного розширення (КЛТР) - до десяти разів [14]

тощо. Усе це обумовлює градієнт властивостей поверхні, а за наявності чіткої межі розділу – стрибків властивостей;

3) особливості, що вносяться самим покриттям (відмінність властивостей покриття та основи) [15]. Так модуль пружності монолітного молібдену вдвічі нижчий, ніж у плазмово-напиленого порошку молібдену [16]. Теплопровідність покриттів може бути в п'ять-десять разів меншою від значень для монолітного зразка тієї ж пористості, виготовленого з того ж металу.

Залежно від способу нанесення механічні властивості покриттів можуть змінюватися в широких межах [6]. Температурні режими нанесення викликають залишкові напруження в покриттях, розподіл яких неоднорідний за товщиною композиції [17]. Властивості та характеристики композиції тісно взаємопов'язані та надають суттєвий вплив один на одного і на композицію загалом. Для різних композицій та умов експлуатації існує оптимальне поєднання властивостей, що забезпечує максимальне значення тих чи інших експлуатаційних характеристик.

У літературі є велика кількість робіт, що описують вплив різних покриттів на механічні характеристики композиції "основа-покриття" у різних умовах випробувань та експлуатації. Цей вплив може призводити до незначної зміни властивостей композиції порівняно з вихідним матеріалом [18], значного зниження міцності та пластичності композиції [19], до підвищення її механічних властивостей після нанесення покриття [20, 21]. Так, залежно від співвідношення властивостей дифузійного шару та основи покриття по-різному впливають на показники міцності та пластичності композиції при статичному навантаженні. Тверді, але крихкі покриття підвищують межі міцності та пластичності, але зменшують відносне подовження. Алітування, дифузійне міднення знижують міцність, але підвищують пластичність. Борирування призводить до зниження витривалості сталі в три-п'ять разів [22]. На підвищення міцності втоми матеріалів з пластичними плівками і на зменшення її у разі крихких плівок вказується в роботі [23].

Істотне зменшення втомної міцності викликають гальванічні покриття [24]. Дослідження показали, що плазмові покриття зі сталей 40X13, 11X18МВС,

У10А на сталі 40ХНМА викликають зниження втомної міцності, а в умовах фреттинг-корозії навпаки підвищують межі фреттинг-втоми на 56-81%. Втомна міцність зразків з покриттям Мо нижче, ніж без покриття, а в умовах фреттинг-втоми, довговічність зразків з покриттям збільшується [25]. Пояснення змін несучої здатності основи та композиції при нанесенні покриттів здебільшого пов'язують з нижчою міцністю та пластичністю матеріалів покриттів або з іншими окремими характеристиками. Однак, дуже мало робіт, в яких було б розглянуто комплексний вплив всіх чи основних факторів та параметрів покриттів на конструкційну міцність та довговічність композиції “покриття-основа”.

2.2. Азотування в тліючому розряді (іонне азотування)

Однією із сучасних технологій, що дозволяє помітно (у кілька разів) підвищити зносостійкість різального та штампового інструменту, є іонно-плазмове азотування – ПІА.

При іонному азотуванні підвищується твердість поверхні і зносостійкість всіх марок швидкорізальних сталей і сплавів, а глибина азотованого шару залежить від фазового складу сталей - зростанням кількості карбідів у швидкорізальній сталі глибина азотованого шару поступово зменшується: слабше у сталей не містять кобальт, помітніше у кобальтових [26].

Зносостійкість при різанні інструментом із азотованої швидкорізальної сталі залежить від кількості карбідної фази сталі, збільшуючись у міру її зростання.

Іонне азотування є також одним з основних методів збільшення довговічності штампового інструменту та ливарного оснащення зі сталей 5ХНМ, 4Х5МФС, 3Х2В8, 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС, 38Х2МЮА, Х12, Х12М, Х12Ф1.

Процес іонного азотування проводиться в герметичному замкнутому об'ємі в розрядженому азотовмісному газовому середовищі. Між катодом (деталлю) та анодом збуджується тліючий розряд [27]. Іони газу з великою енергією бомбардують поверхню деталі, нагрівають її, депасивують і змінюють

тонку структуру поверхні, інтенсифікують хімічні процеси, адсорбцію та дифузію, внаслідок чого поверхня насичується азотом та його сполуками з металами, підвищуючи твердість та інші фізико-механічні властивості деталі. Порівняно з пічним азотуванням іонне азотування має такі переваги:

1. Велику швидкість насичення, внаслідок чого скорочується тривалість процесу в три-п'ять разів.
2. Отримання дифузійних шарів заданого фазового складу та будови.
3. Можливість управління фізико-механічними параметрами азотованого шару у значному діапазоні, що дозволяє підвищити надійність та довговічність виробів.
4. Висока економічність процесу, скорочення витрат електроенергії та насичуючих газів.
5. Незначні деформації виробів у процесі обробки та збереження високого класу шорсткості, що виключає необхідність подальшої механічної обробки.
6. Розширюється клас оброблюваних матеріалів (всі сталі, чавуни, ряд кольорових сплавів, тугоплавких матеріалів та їх сплавів, металокераміка).
7. Простота способів захисту частин виробів, які не підлягають зміцненню.
8. Поліпшення умов праці та охорони навколишнього середовища.
9. Можливість автоматизації управління та контролю за техпроцесом, його оптимізація.

Відомо, що найкращі показники працездатності штампового інструменту досягаються при зміцненні азотуванням. З ряду можливих процесів азотування представляє інтерес низькотемпературне азотування, як оптимальне для штампового інструменту з достатньо легованих сталей 4X5B2ФС, 4X5МФС, 3X3М3Ф та ін.

Досвід азотування всієї номенклатури гарячештампувального інструменту (матриці, пуансони, виштовхувачі, протяжні кільця, тавра та ін.) свідчить про те, що після азотування його експлуатаційна стійкість підвищується у 2–3 рази. Однак для проведення азотування всієї номенклатури гарячештампувального інструменту потрібні значні виробничі потужності,

причому практичне здійснення процесу найчастіше лімітується забезпеченням балонного аміаку, а також жароміцним хромонікелевим литтям (реторти, кошики до печей типу США). Крім того, лімітуючими факторами є габарити робочого простору печей. Таким чином, виникає необхідність пошуку альтернативних енергозберігаючих процесів хіміко-термічної обробки (ХТО), що дозволяють підвищити експлуатаційну стійкість інструменту, а також інтенсифікацію процесів ХТО.

2.3. Борування інструменту

В роботі [28] виявлено номенклатуру інструменту, стійкість якого підвищується після борування. Відомо, що негативною властивістю борированного шару є його підвищена крихкість, що обмежує застосування борування як машинобудуванні, так і в інструментальному виробництві. Однак у тих випадках, коли борований шар працює в умовах безударного навантаження, абразивного зношування тощо, його вплив на зносостійкість важко переоцінити.

Встановлено, що гідропресовий борований інструмент за стійкістю не поступався азотованим. При цьому в умовах глибокого прошивання сталевих склянок стійкість борованих пуансонів була на 25–30 % вищою, ніж азотованих. Таким чином, для значної групи інструменту гідропресового штампування (пуансони прошивочні та протяжні, матриці, виштовхувачі) питання про альтернативу азотуванню принципово було вирішено на користь борування. Зважаючи на труднощі електролізного борування, в роботі [29] було випробувано інший відомий варіант рідинного борування. Використання в розплаві технічної бури порошку бору замість карбиду бору B_4C або бориду заліза FeB дозволило прискорити процес борування за рахунок його великої реакційної спроможності, а також знизити кількість твердої фази у ванні та зменшити її крихкість. Для підвищення рідко плинності розплаву до нього додавали невелику кількість хлоридів чи фторидів лужного металу.

Експлуатаційні випробування показали доцільність застосування борованих таким способом пуансонів гарячого штампування в умовах роботи

на гідравлічних пресах, тобто при плавному безударному навантаженні інструменту. Так, стійкість прошивних та протяжних пуансонів при гарячому штампуванні заготовок типу «стакан» була не нижчою, ніж у азотованих, а в деяких випадках і вищою у 1,5 рази.

Проводили процес безструмового рідинного борування в розплаві наступного складу: 73-78% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (бура), 15-20% NaCl , 5-7% В (порошок чорного бору). Розплав бури з порошком бору має хорошу рідину, що сприяє його значно меншому винесення з ванни, ніж розплав з карбідом бору або розплав при електролізному боруванні.

Розвитком описаного вище безструмового процесу є економічніший варіант – борування в електродних соляних ваннах. Для нього застосовують розплав складу: 92-96,5% NaCl ; 2-5% NaF ; 1,5-3% В (порошок бору) [30]. Використання такого розплаву дозволяє проводити борування безмуфельним способом, що особливо важливо в умовах дефіциту жароміцного сталевого нікельвмісного лиття. Розплав знаходиться безпосередньо у вогнетривкій цегляній кладці соляної електропечі-ванни (типу СВС-100). Склад розплаву є нейтральним по відношенню до цегляної кладки ванни і гарантовано не викликає її роз'їдання. Ванни такого типу працюють на всіх заводах. При цьому нагрів розплаву здійснюється внутрішніми електродами. В результаті витрата електроенергії в кілька разів менша, ніж у ваннах тиглів з зовнішнім обігрівом. Цей процес досить широко апробовано машинобудівними заводами [30].

Висновки

Статистика та дослідження багатьох вчених показують, що більшість руйнувань у техніці починається з поверхні. Властивості поверхневого шару дуже впливають на міцність і довговічність конструкційних елементів і машини в цілому. Одним з перспективних та економічних способів вирішення даного завдання є нанесення зміцнювальних захисних покриттів (ЗЗП), які дозволяють захистити конструкційний матеріал від впливу середовища та високих температур, або зміцнити поверхню за збереження менш міцної серцевини. Різноманітність умов експлуатації машин, обладнання та інструменту для

забезпечення їх високої надійності та довговічності потребує створення робочих поверхонь з різними фізико-механічними характеристиками. Цим і обумовлено існування в даний час великої кількості видів поверхневого зміцнення та ЗЗП із різними фізико-механічними властивостями. Ефективність їх застосування багато в чому залежить від правильності вибору типу, технології нанесення та фізико-механічних параметрів покриття (товщини, твердості, градієнта властивостей за глибиною, корозійною стійкістю, теплостійкістю та ін.). Серед великої кількості типів ЗЗП та зміцнень найбільше поширення в техніці мають дифузійні покриття, які отримують методом хіміко-термічної обробки (ХТО). Практично при ХТО можна формувати покриття різного складу із широким діапазоном властивостей. Міцність та довговічність матеріалів з покриттями багато в чому залежить від технології нанесення покриття та її керованості. дуже важливим є питання застосування прогресивних ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій нанесення покриттів методом ХТО із застосуванням електричних розрядів, лазерних променів, прискорених частинок та інших методів.

Розглянуті технології іонного азотування і борування штампового інструменту.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА РОЛЬ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

При виготовленні деталей холодноштампувальної оснастки застосовують різні сталі відповідно до призначення, умов експлуатації та технології виготовлення деталей штампу.

Від правильного вибору матеріалу для кожного виду деталей та відповідного режиму його термічної обробки залежить працездатність, міцність та збереження розмірів робочих частин штампів.

Так, наприклад, для виготовлення вирубного штампу для холодного штампування листового матеріалу необхідно, щоб сталь, що йде на виготовлення пуансонів і матриць, мала наступні основні властивості:

- була високоміцною, тому що в процесі роботи штамп зазнає великих та ударних навантажень;
- мала високу твердість, тому що процес різання (вирубку) можна виконати лише за умови, що твердість матеріалу пуансона і матриці штампу значно більша за твердість матеріалу, що штампується;
- мала зносостійкість, так як довговічність роботи вирубного штампу залежить від ступеня стирання його ріжучих кромки;
- мала високу в'язкість, щоб внаслідок частих та сильних ударів ріжучі кромки не фарбувалися;
- мала гарну загартованість і прогартованість, що забезпечує відсутність тріщин після гартування і достатню глибину загартованого шару, що дає можливість неодноразово заточувати пуансон штампу і прошліфувати дзеркало матриці.

Штампові сталі повинні мати також особливі технологічні властивості. До цих властивостей відносяться:

- хороша оброблюваність різанням та тиском (у холодному та гарячому стані);

- хороша загартовуваність, тобто можливість отримати високу твердість та рівномірну дрібнокристалічну структуру;
- мінімальна чутливість до перегріву, тобто можливість гартування з нагріванням до високих температур;
- мала деформація деталей під час термічної обробки;
- невелика чутливість до знеуглецювання при нагріванні, що знижує твердість поверхневого робочого шару металу;
- хороша шліфуємість, що визначає високий клас чистоти шліфованої поверхні та продуктивність шліфування.

Перерахованим вимогам відповідають лише певні марки інструментальних сталей.

Для виготовлення штампів холодного деформування застосовують сталь У8А або ХВГ з наступним насиченням кремнієм та бором.

Хімічний склад та температури критичних точок сталі У8А представлені в таблицях 3.1 та 3.2, відповідно.

Інструментальна сталь широко застосовується у промисловості.

Інструментальні сталі використовують для виробництва ріжучого інструменту, що використовується в умовах тривалого контакту та навантажень з боку металу, що обробляється. Головним вимогам до такої сталі є збереження постійних параметрів ріжучої кромки в процесі всього терміну служби. Інструментальні сталі повинні мати високу твердість і зносостійкість. Зносостійкість – здатність тривалий час зберігати ріжучі якості краю за умов навантажень [3]. Крім того, ріжучому інструменту необхідно мати високу міцність і достатню в'язкість для підтримки форми робочої кромки і не руйнуватися при згинанні, крученні та динамічних навантаженнях.

Під час різання робочий край інструменту сильно нагрівається. З цієї причини однією з основних вимог, що висуваються до інструментальних сталей У8А, є висока червоностійкість – збереження твердості та ріжучих характеристик при тривалому нагріванні під час експлуатації.

Таблиця 3.1

Хімічний склад сталі У8А,% [31]

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
			не більше				
0,76-0,83	0,17-0,33	0,17-0,33	0,018	0,025	0,20	0,20	0,20

Таблиця 3.2

Температура критичних точок, °С

Ac1	Ac3 (Aст)	Ar1	M _n
730	765 (112)	700	245

Таблиця 3.3

Хімічний склад сталі ХВГ,% [32]

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 0.03	до 0.03	0.9 - 1.2	1.2 - 1.6	до 0.3

Таблиця 3.4

Температура критичних точок, °С

Ac1	Ac3 (Aст)	Ar1	M _n
750	940	710	210

Сталь ХВГ легована хромом, вольфрамом і марганцем; має добру загартованість і прогартованість, на відміну від сталі У8А. Твердість більше за HRC 60 виходить по всьому перетину циліндричних зразків діаметром 45-48 мм при гартуванні з охолодженням в маслі (до 35 мм в гарячих середовищах). Після гартування сталі ХВГ зберігається підвищена (до 15-18%) кількість залишкового аустенита, що зменшує жолоблення і робить її малодеформівною. Наявність такої кількості аустенита знижує опір малим пластичним деформаціям і збільшує чутливість до шліфувальних тріщин. Недоліками сталі ХВГ є: підвищена карбідний неоднорідність (в заготовках великих перетинів спостерігається карбідна сітка), що веде до викришування і знижує стійкість інструмента.

Вплив *хром*у в сталі ХВГ. Цей елемент підвищує точку A_{c1} . Хромистий ферит володіє підвищеними міцнісними властивостями, хром зменшує схильність фериту до крихкого руйнування, змiщає максимальну швидкість перетворення аустенита в перлітній області до більш високих температур, зменшує швидкість перлітного перетворення. У разі повного розчинення карбідів і, таким чином, значного насичення твердого розчину вуглецем мартенситна точка сталі істотно знижується, і в сталі зберігається багато залишкового аустенита. Хромиста сталь володіє підвищеною стійкістю проти відпуску. Хром підвищує прогартованість сталі, сприяє отриманню високої і рівномірної твердості. Наявність карбідів хрому або карбідів цементитного типу, легованих хромом, забезпечує сталі підвищену зносостійкість.

Вплив *вольфраму*. Цей елемент підвищує точки A_{c3} і A_{c1} . Підвищує температуру рекристалізації, твердість, межу міцності і межу текучості фериту, знижує пластичність. Вольфрам і карбіди, що утворюються ним зменшують схильність до зростання зерна аустенита. Вольфрам підвищує стійкість аустенита в перлітній області, майже не впливаючи на його стійкість в проміжній області. Підвищує стійкість проти відпуску. Додає теплостійкості сталі.

Вплив *марганцю*. Легування фериту цим елементом супроводжується його зміцненням. Найбільш значно впливають на його міцність марганець і хром. Причому чим дрібніше зерно фериту, тим вище його міцність. Зміст марганця більше за 1% збільшує ударну в'язкість, розширює область аустенита, збільшує прогартованість, сприяє розкисленню сталі, утворює стійкі карбіди.

Висновок

Для виготовлення вирубного штампу для холодного штампування листового матеріалу необхідно, щоб сталь, що йде на виготовлення пуансонів і матриць, мала наступні основні властивості: була високоміцною, тому що в процесі роботи штамп зазнає великих та ударних навантажень; мала високу твердість, тому що процес різання (вирубку) можна виконати лише за умови, що твердість матеріалу пуансона і матриці штампу значно більша за твердість

матеріалу, що штампується; мала зносостійкість, так як довговічність роботи вирубного штампу залежить від ступеня стирання його ріжучих кромки; мала високу в'язкість, щоб внаслідок частих та сильних ударів ріжучі кромки не фарбувалися; мала гарну загартованість і прогартованість, що забезпечує відсутність тріщин після гартування і достатню глибину загартованого шару, що дає можливість неодноразово заточувати пуансон штампу і прошліфувати дзеркало матриці. Штампові сталі повинні мати також особливі технологічні властивості. До цих властивостей відносяться: хороша оброблюваність різанням та тиском (у холодному та гарячому стані); хороша гартуваність, тобто можливість отримати високу твердість та рівномірну дрібнокристалічну структуру; мінімальна чутливість до перегріву, тобто можливість гартування з нагріванням до високих температур; мала деформація деталей під час термічної обробки; невелика чутливість до знеуглецювання при нагріванні, що знижує твердість поверхневого робочого шару металу; хороша шліфуємість, що визначає високий клас чистоти шліфованої поверхні та продуктивність шліфування.

Перерахованим вимогам відповідають лише певні марки інструментальних сталей. Для виготовлення штампів холодного деформування застосовують сталь У8А або ХВГ. Рекомендується деталі із вуглецевих сталей піддавати наступній хіміко-термічній обробці – азотуванню або боруванню. Більшою прогартованістю та міцністю володіють сталі типу ХВГ, вони надійно працюють на знос та при ударних навантаженнях за рахунок невеликої кількості залишкового аустеніту.

РОЗДІЛ 4

МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕТАПІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Одним з основних принципів побудови технологічних процесів є принцип поєднання технічних, економічних і організаційних завдань, що вирішуються в даних виробничих умовах.

Технологічний процес повинен забезпечити виконання всіх вимог до точності і якості деталі в цілому, передбачених кресленнями і технічними умовами, при найменших затратах праці і мінімальної собівартості.

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки вихідними є наступні дані: програмне завдання; креслення і технічні умови на виготовлення виробу; вид заготовки, що залежить від розміру партії, матеріалу, геометричної форми і розміру деталі та ін.

Маршрутна технологія – це послідовність технологічних операцій від початкової до установки деталі в вузол або механізм.

Маршрутна технологія виготовлення матриці вирубного штампу складається з наступних операцій:

1. Заготівельна.
2. Кування.
3. Відпал.
4. Стругання заготовки з припуском 0,25-0,3 мм на шліфування.
5. Шліфування нижньої та верхньої поверхні (чорнове).
6. Шліфування двох бокових поверхонь під кутом 90° (чорнове).
7. Розмітка профілю вікна матриці.
8. Фрезерування вікна матриці за розміткою з припуском 0,05 мм на бік.
9. Термополіпшення.
10. Шліфування нижньої та верхньої поверхні (чистове).
11. Шліфування двох бічних поверхонь (чистове).

12. Свердління та розточування на координатно-розточувальному верстаті шести отворів діаметром 6 мм.
13. Механічна обробка із забезпечення точності розмірів вікна матриці.
14. Боросиліціювання.
15. Загартування.
16. Низький відпуск.
17. Шліфування верхньої нижньої поверхні начисто.
18. Доведення розмірів та контуру вікна матриці.
19. Контроль.

Висновок

Технологічний процес повинен забезпечити виконання всіх вимог до точності і якості деталі в цілому, передбачених кресленнями і технічними умовами, при найменших затратах праці і мінімальної собівартості.

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки вихідними є наступні дані: програмне завдання; креслення і технічні умови на виготовлення виробу; вид заготовки, що залежить від розміру партії, матеріалу, геометричної форми і розміру деталі та ін.

Розроблена маршрутна технологія виготовлення матриці вирубного штамп.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу термічної обробки

Технологічний процес виготовлення штампового інструменту включає попередню термічну обробку, чорнову механічну обробку, чистову механічну обробку, остаточну термічну обробку, доведення розмірів та хіміко-термічну обробку.

Попередня термічна обробка призначена для вирішення задачі покращення технологічних властивостей металу або технологічності, що важливо для виготовлення деталей, або (і) поліпшення механічних властивостей готових виробів, які не можуть бути досягнуті лише в результаті остаточної термічної обробки.

Технологічні завдання, які вирішуються технологами попередньої термічної обробки, – це підготовка або одержання такої структури, яка забезпечує кращу оброблюваність різанням або пластичним деформуванням, зменшення жолоблення та прискорення процесів дифузії при остаточній термічній обробці.

За допомогою попередньої термічної обробки покращують якість металу перед формоутворенням: запобігають виникненню флокенів, усувають структурну та хімічну неоднорідність, знижують вміст у металі газів, зменшують дендритну ліквіацію. Часто таку обробку використовують для підвищення структурної стабільності металу з метою зниження надалі жолоблення виробів та зменшення розкиду показників спотворення форми та розмірів.

За допомогою попередньої термічної обробки знижують твердість, усувають наклеп, нейтралізують шкідливу дію залишкових напружень, що виникають на різних операціях формоутворення, тим самим підвищуючи технологічність заготовок.

Попередню термічну обробку використовують для підготовки структури металу з метою ефективнішого виконання остаточної термічної обробки та інтенсифікації процесів хіміко-термічної обробки.

Як попередня термічна обробка для заготовки матриці після кування застосовується рекристалізаційний відпал.

Рекристалізаційний відпал включає нагрівання заготовки після кування вище температури рекристалізації, витримку при цій температурі (рис. 5.1).

Після рекристалізаційного відпалу сталі У8А її структура – пластинчастий перліт (НВ 180-187), рис. 5.2.

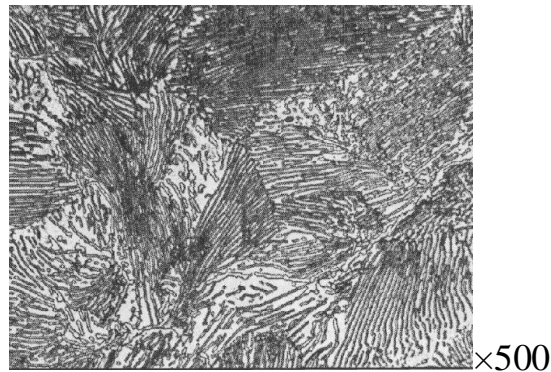


Рисунок 5.2 – Структура сталі У8А після рекристалізаційного відпалу:
пластинчастий перліт

Після чорної механічної обробки заготовку піддають термополіпшенню. Гартування з високим відпуском одночасно підвищує тимчасовий опір, межу плинності, відносне звуження і ударну в'язкість, знижує твердість (HRC 28-32). Структура після термопокращення – зернистий сорбіт, рис. 5.3. Така структура та властивості сталі сприяють поліпшенню механічної обробки деталі.

У якості зміцнювальної хіміко-термічної обробки вирубного штампу зі сталі У8А застосуємо боросиліціювання в порошковому карбюризаторі.

Боросиліціювання в порошкоподібних сумішах, як і борування, помітно підвищує корозійно-втомну міцність сталі.

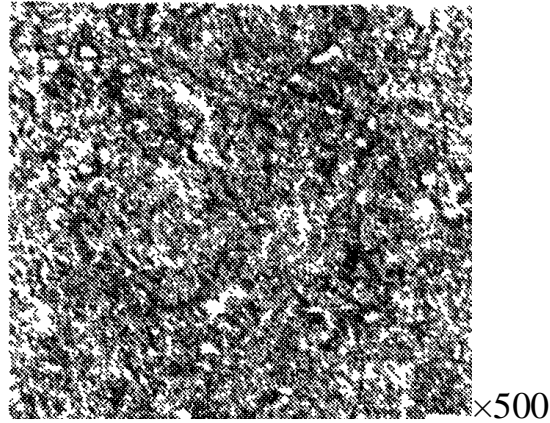


Рисунок 5.3 – Структура сталі У8А після термопокрощення:
зернистий сорбіт

Пуансон та матрицю насичують в контейнерах. Як насичувальні середовища використовувалися порошки технічного карбиду бору B_4C і кристалічний силіцій або феросиліцій. Насичення проводилося за температури 1050-1080 °С протягом 6 - 8 годин (рис. 5.3).

Після боросиліціювання проводять гартування та низький відпуск для зміцнення внутрішніх шарів деталі (рис. 5.4).

Як компонент, що містить бор, застосовуються суміші порошків бору кристалічного (або ферробора) з хлористим амонієм, або карбиду бору B_4C з хлористим амонієм або бурою. Хімічний склад матеріалів, що містять бор, наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Хімічний склад боровмісних матеріалів [33]

п/п	найменування матеріалу	Вміст елементів,				% мас. С
		В	Si	Al	Fe	
1	Бор кристалічний	99,14	0,006	0,033	0,10	0,60
2	Ферробор*	20,41	0,93	4,61	73,75	0,25
3	Карбід бору**	76,30	0,40	0,30	0,20	22,40

*залізор марки ЖБ-1

**Карбід бору B_4C із вмістом вільного вуглецю <1,5%, зернистість № 4 або № 5.

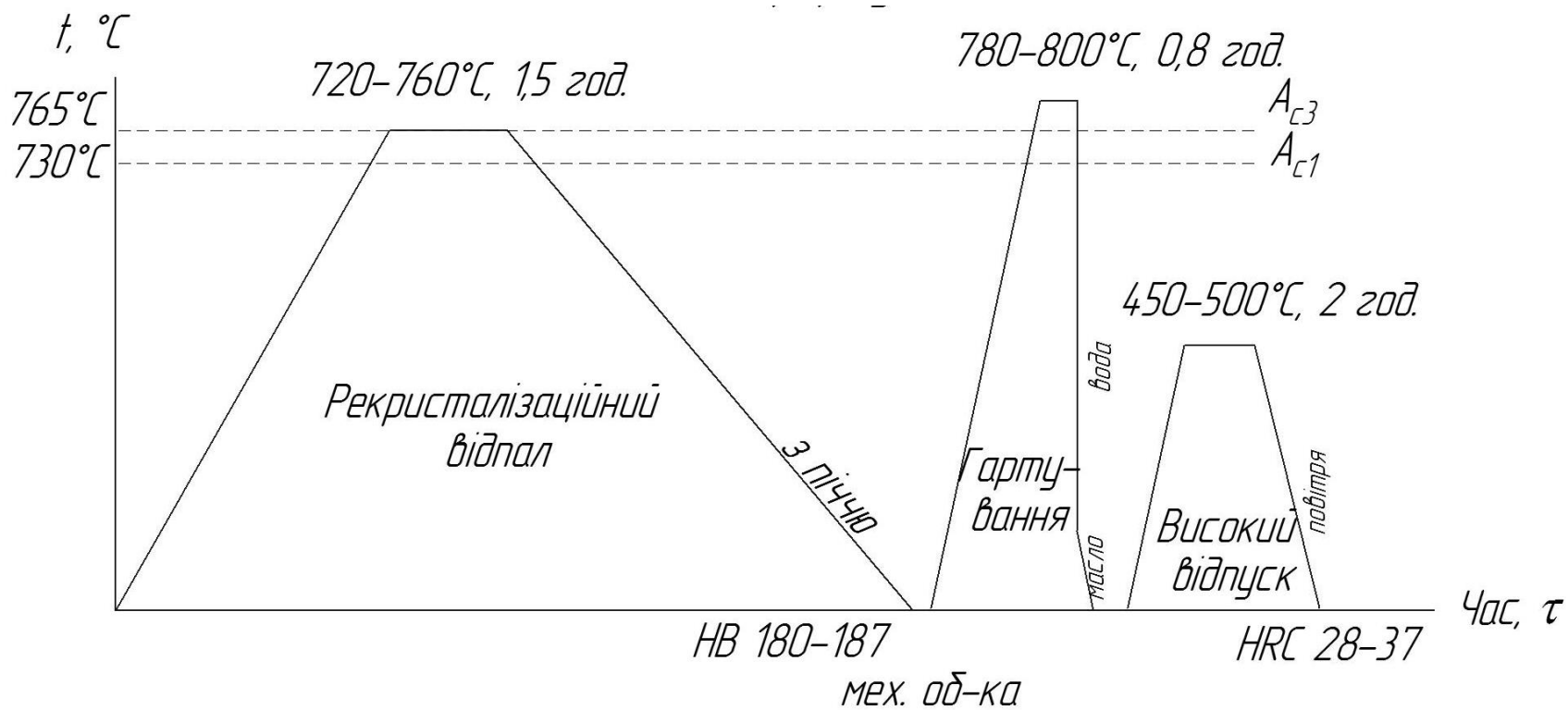


Рисунок 5.1 – Схема попередньої термічної обробки штампу для холодного деформування зі сталі У8А

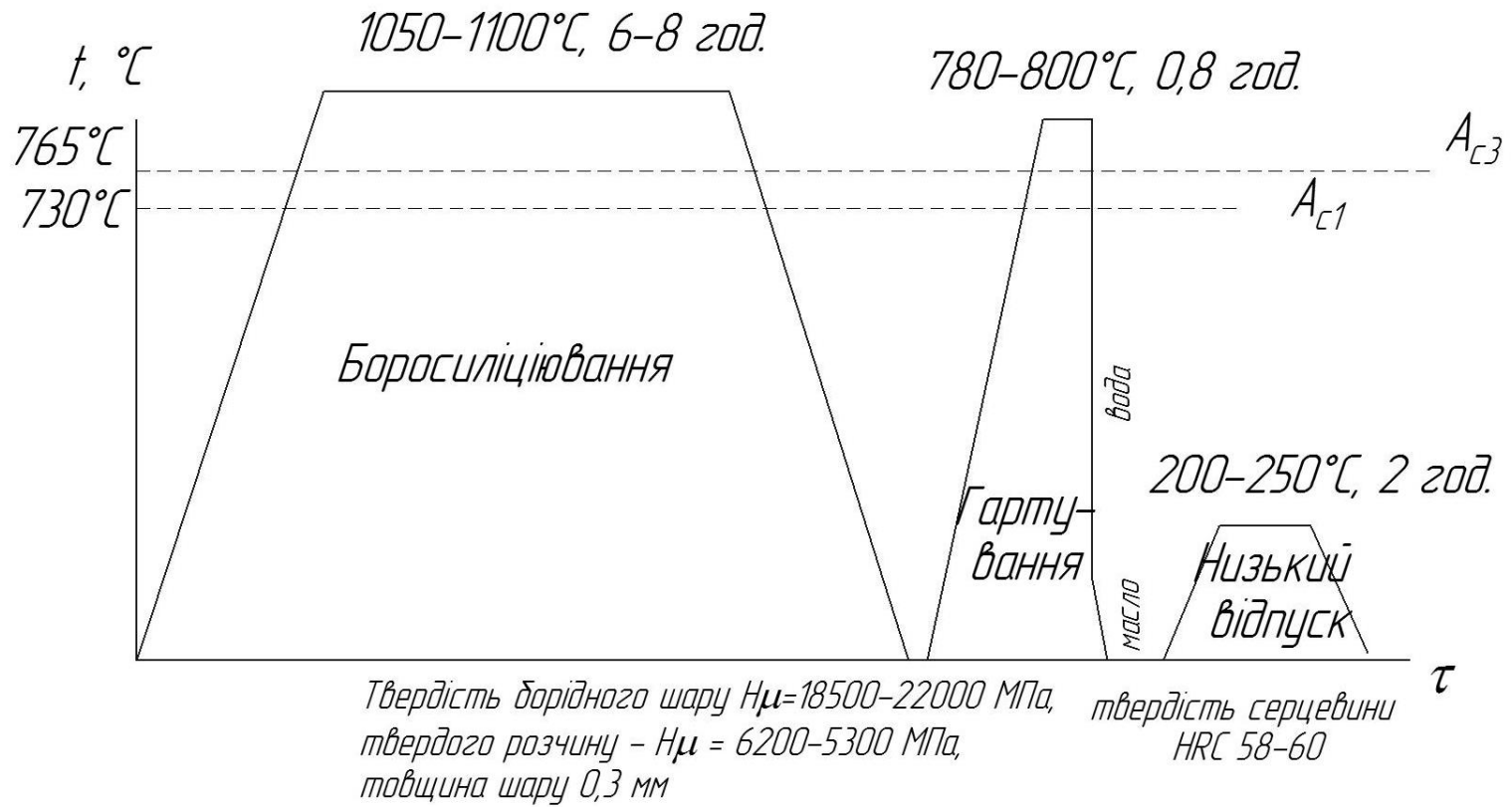
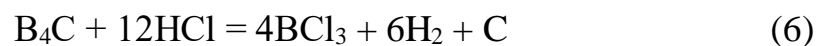
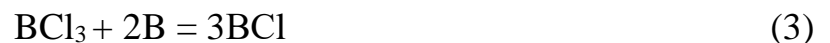


Рисунок 5.4 – Схема попередньої термічної обробки штампку для холодного деформування із сталі У8А

Як кремнійвмісний компонент застосовується суміш порошків кремнію кристалічного (або 75%-ного феросиліцію) з хлористим амонієм.

При послідовному насиченні бором і кремнієм силіціювання здійснюється в суміші порошків, що складаються з 75% кремнію кристалічного (або феросиліцію) з продувкою хлористим воднем або паром чотирихлористим кремнієм.

При температурах насичення в бор- і кремнійвмісних компонентах в результаті хімічної взаємодії утворюються активні бор і кремній за реакціями:



5.2. Методика експерименту

Дифузійне насичення здійснювалося в порошкових сумішах, що забезпечує добре відтворені результати і дозволяє здійснювати двокомпонентне насичення з варіюванням в широкому інтервалі кількості складових компонентів при спільному (одночасному) насиченні, а також проводити багатоконпонентне послідовне насичення в будь-якій черговості. До переваг цього способу насичення слід віднести можливість отримання рівномірної товщини покриття на деталях складної конфігурації і будь-якого співвідношення поперечного перерізу деталі до її довжини.

Після підготовки поверхні деталей та порошків для насичення деталі упаковувалися в контейнери з нержавіючої сталі з плавкими затворами таким чином, щоб між поверхнями, що насичуються, шар робочої суміші становив не менше 20 мм. Як матеріал для плавкого затвора застосовувалася натрійсилікатна глиба або рідке скло. Після розплавлення затворного матеріалу реакційний простір контейнера надійно герметизується; в контейнері встановлюється постійний позитивний тиск газів, що насичують, величина

якого залежить від опору плавкого затвора (висоти розплавленої рідини). При охолодженні в контейнері утворюється розрідження внаслідок конденсації хлоридів, фторидів і пар металів, проте застиглий плавкий затвор перешкоджає підсмоктування повітря і тим самим оберігає насичені деталі та відпрацьовану суміш від окислення.

При виготовленні шліфів використовується закладання зразків у металеві струбцини або запресування в пластмасу для попередження завалів зразка по його периметру.

Для виявлення структури дифузійних покриттів шліфи зазнавали травлення у реактиві: 5% розчин азотної кислоти у спирті.

Метод мікротвердості широко застосовується для вивчення структури та фазового складу дифузійних покриттів. Особливо цінним він є при дослідженні покриттів, що утворюються при багатоконпонентному насиченні, коли дифундуючі елементи утворюють багатофазний шар, що насичується металом.

Мікротвердість фаз дифузійних покриттів вимірювалася на приладі ПМТ-3 при навантаженнях 20-50 та 100Г для силіцидних та боридних фаз відповідно. Значення мікротвердості визначалися за допомогою таблиць або емпіричної формули $HV=1854P/c$.

5.3. Дослідницька частина

При спільному насиченні товщина боридосиліцидних покриттів залежить від складу насичувальної суміші. Зі збільшенням у суміші кремнійвмісного компонента до 75 - 80 % товщина боридосиліцидних покриттів зменшується, що пов'язано зі збідненням насичувальних сумішей на компонент, що містить бор, а також легуванням заліза і сталі кремнієм, що утруднює дифузію бору. Найменша товщина покриттів утворюється в суміші, що містить 20% борвмісного компонента і 80% кремнійвмісного компонента, що пов'язано з легуванням основного металу кремнієм і бором і утворюванням при насиченні фаз, що впливають на швидкість дифузії насичувальних елементів, а також зі зменшенням активності насичувальної суміші борвмісний компонент в результаті деякої взаємодії між компонентами [34].

Вплив вмісту вуглецю сталі на товщину покриттів

Оскільки кремній як і бор є елементом, що замикає γ -область на діаграмі стану сплавів, то при двокомпонентному насиченні сталі бором і кремнієм слід очікувати перерозподілу вуглецю із зони дифузії бору і кремнію в перехідну зону. При спільному насиченні сталі бором і кремнієм вуглець витісняється із зони дифузії насичувальних елементів у перехідну зону. У зв'язку з цим товщина бордосилицидних покриттів на сталях зменшується зі збільшенням вмісту вуглецю в них.

Структура та склад бордосилицидних покриттів

Відповідно до бінарних діаграм станів сплавів Fe-B і Fe-Si у дифузійних покриттях (рис. 5.4 і 5.5), що утворилися при спільному боросилуванні заліза і сталі, слід очікувати наявності як боридних так і силіцидних фаз із залізом, а також тверді розчини бору та кремнію у залізі. Аналіз діаграми стану B-Si показує, що у системі B-Si встановлено існування сполук B_3Si , BSi і B_2Si . Розчинність бору в кремнії при кімнатній температурі, так і при $1300^\circ C$ незначна і становить приблизно 0,5 і 1,6 % відповідно.

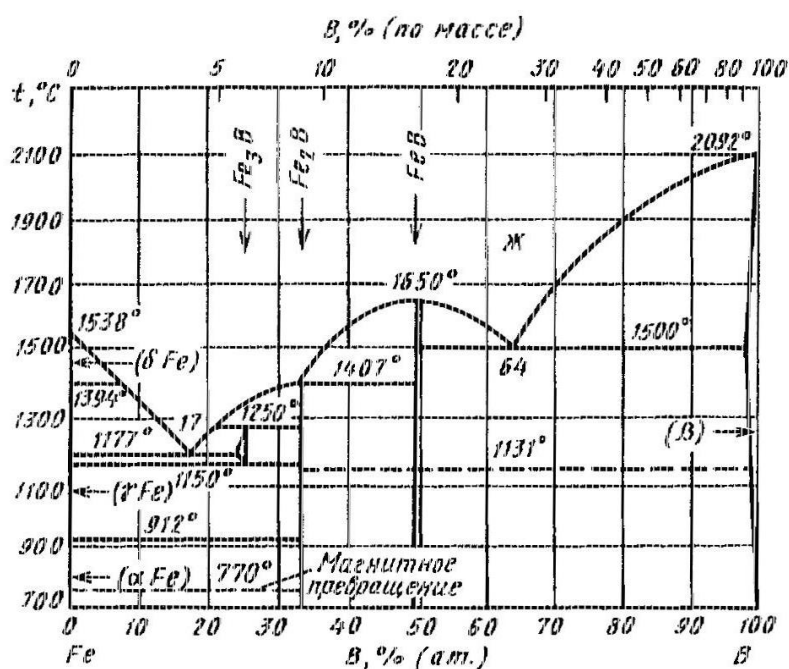


Рисунок 5.4 – Діаграма стану залізо – бор [34]

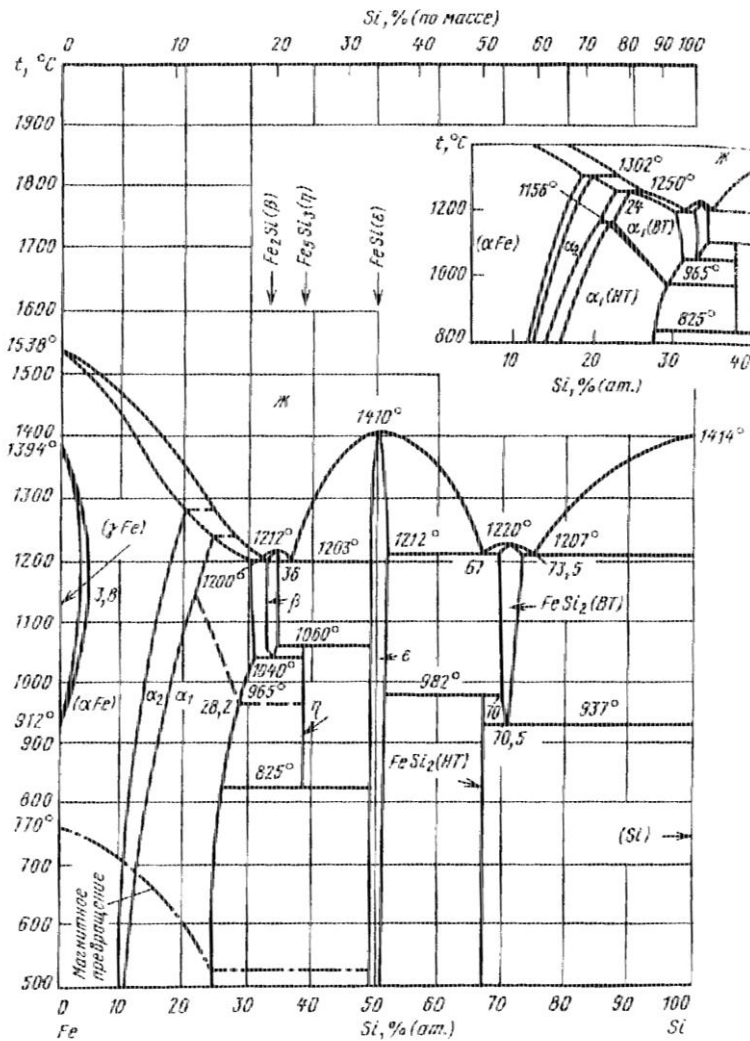


Рисунок 5.5 – Діаграма стану залізо – кремній [34]

Структура боридосиліцидних покриттів при спільному боросиліціюванні залежить від складу насичувальної суміші, вмісту вуглецю в сталі, що насичується, температури і тривалості насичення. Встановлено, що у разі насичення заліза та сталі у сумішах, що містять кремній складового компонента менше 10 % покриття складаються з боридних фаз, що мають голкоподібну будову та орієнтування подібно до того, як це спостерігається при боруванні (рис. 5.6, а).

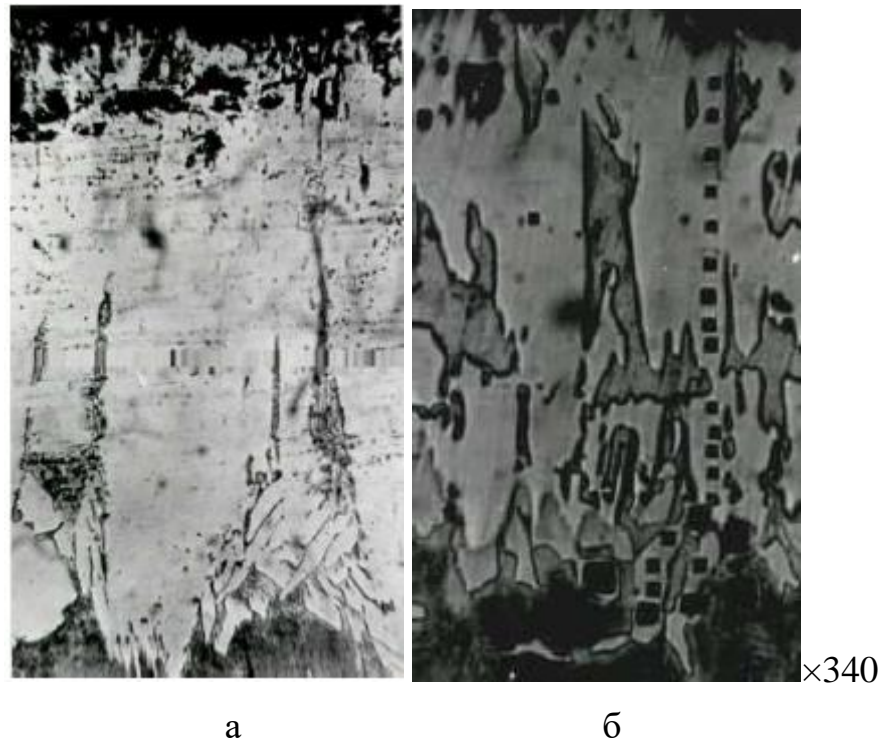


Рисунок 5.6 – Мікроструктура боридосиліцидних покриттів на У8А.

а – насичувальна суміш (% мас.): 90 ($84B_4C + 16Na_2B_4O_7$) + 10 (95Сікріст + $5NH_4Cl$); б – насичувальна суміш (% мас.): 80 ($84B_4C + 16Na_2B_4O_7$) + 20 (95 Сікріст + $5 NH_4Cl$) [35]

У разі насичення в сумішах, що містять більше 80% кремній складового компонента (решта – борвмісний компонент) у покриттях утворюються тільки силіцидні фази, мікротвердість яких становить 7000-6000 МПа, знижуючись по товщині шару до 3500-3000 МПа (рис. 5.6, б).

При вмісті близько 50% кремній складового компонента боридів міститься 75% (рис. 5.7). Мікротвердість боридних фаз у цьому випадку також більш висока порівняно з їхньою мікротвердістю в боридних покриттях і становить 18500 -22000 МПа. Покриття складаються з боридних та силіцидних фаз та твердого розчину бору та кремнію в залізі. При цьому зона твердого розчину при боросиліціюванні більш розвинена, ніж це спостерігається при боруванні, що пов'язано з впливом кремнію на його утворення, а також перерозподіл вуглецю з зони дифузії насичувальних елементів. Мікротвердість боридних фаз, легованих кремнієм становить 18500 - 21500 МПа, а твердого розчину бору та кремнію в залізі - 6200 -5300 МПа.



Рисунок 5.7 – Мікроструктура боридосиліцидних дифузійних покриттів.
Насичувальна суміш (% мас.): $40(84B_4C+16Na_2B_4O_7)+60(95Si+5NH_4Cl)$

Структура покриттів у разі боросиліціювання в сумішах, кремнійвмісного компонента, визначається активностями бору і кремнію і швидкістю їх дифузії в основний метал. Менш орієнтована будова боридів при спільному боросиліціюванні в сумішах, що містять більше 20-40% кремнійвмісного компонента і пояснюється, мабуть, взаємною розчинністю металоїдів. Більш орієнтовані бориди в нижній зоні покриття свідчать, що вони ростуть у початковий період утворення дифузійного покриття. У міру збільшення тривалості насичення відбувається підвищення концентрації кремнію в поверхневій зоні, що призводить до уповільнення дифузії бору.

5.4. Вибір основного та допоміжного обладнання

Обладнання термічних цехів поділяється на основне та допоміжне.

До основного відноситься обладнання, що застосовується для виконання технологічних операцій, пов'язаних з нагріванням та охолодженням деталей: печі, нагрівальні установки та охолоджувальні пристрої (загартовані баки, гартовані машини та обладнання для глибокого охолодження). Сюди ж відноситься обладнання, яке застосовується для виконання додаткових технологічних операцій у термічних цехах – правки та очищення деталей: правильні преси та очисні установки – травильні ванни, піскоструминні та дробоструминні апарати, мийні машини тощо.

До допоміжного обладнання належать:

1) установки для приготування карбюризатора та контрольованих атмосфер; теплоенергетичне обладнання, до складу якого входять пристрої для

охолодження гартової рідини; санітарно-технічне обладнання; повітродувки та ін.

2) засоби механізації – підйомно-транспортне обладнання (мостові та поворотні крани, котючі балки, монорейки з електротельферами, рольганги, транспортери, конвеєри тощо),

Основне обладнання:

1. Для проведення рекристалізаційного відпалу застосуємо камерну електропеч опору СНЗ 6,5.13.4/10. Її параметри представлені у таблиці 5.

Таблиця 5.2

Технічна характеристика печі СНЗ 6,5.13.4/10 [36]

Потужність, кВт	Продуктивність, кг/год	Максимальна температура	Розміри робочого простору, дм	Габаритні розміри, м		
				ширина	довжина	висота
70	220	1000	6,5×13×4	2,3	2,5	2,4

2. Для проведення гартування застосуємо камерну електропеч опору СНЗ 3.6,5.2/10. Її параметри представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Технічна характеристика печі СНЗ 3.6,5.2/10 [36]

Потужність, кВт	Продуктивність, кг/год	Максимальна температура	Розміри робочого простору, дм	Габаритні розміри, м		
				ширина	довжина	висота
18	50	1000	3×6,5×2	1,2	1,4	1,2

3. Відпуск проводимо у відпускній печі типу СНО 2,5.5,0.1,7/7. Зовнішній вигляд камерної електропечі опору подано на рис. 5.8.

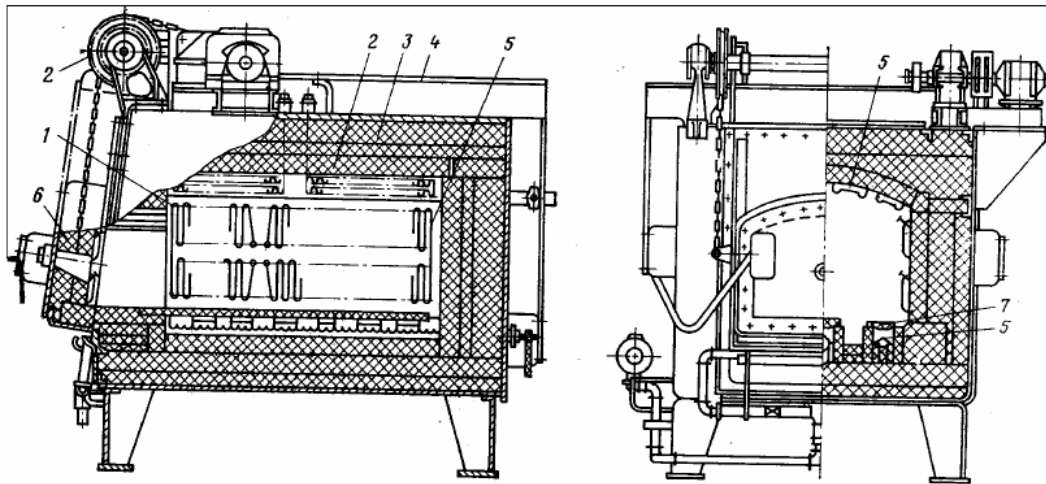


Рисунок 5.8 – Камерна електропеч: 1 – робоча камера; 2 – вогнетривкий шар футерування; 3 – теплоізоляційний шар футерування; 4 – кожух; 5 – нагрівальні елементи; 6 – футеровані дверцята; 7 – подова плита

4. Боросиліціювання проводиться в камерній електропечі опору СНЗ 6.12.5/11. Її параметри представлені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Технічна характеристика печі СНЗ 6.12.5/11

Потужність, кВт	Продуктивність, кг/год	Максимальна температура	Розміри робочого простору, дм	Габаритні розміри, м		
				ширина	довжина	висота
70	220	1100	6×12×5	2,3	2,5	2,4

Для боросиліціювання в твердому карбюризаторі застосуємо укладання деталей (матриць вирубного штампу), представлену на рис. 5.9.

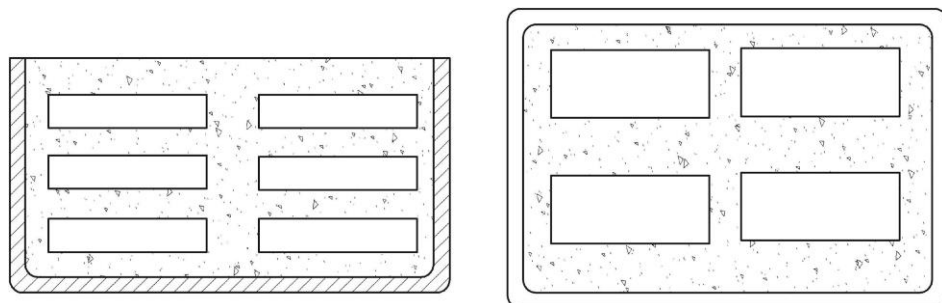


Рисунок 5.9 – Схема укладання деталей у ящики при боросиліювання в порошках

5.5. Техніка безпеки при термічній та хіміко-термічній обробці

Небезпечні та шкідливі фактори, що виникають при термічній обробці виробів, зумовлені її видом, застосовуваним обладнанням та робочими засобами.

Розрізняють наведені нижче види термічної обробки виробів. Власне-термічна: відпал I роду, відпал II роду, гартування без поліморфних перетворень, загартування з поліморфними перетвореннями; хіміко-термічна: науглецювання, азотування, сульфідкування, борування, алітування, хромування, силіціювання; деформаційно-термічна: попередня, високотемпературна, ізотермічна, низькотемпературна, високо- та низькотемпературна: контрольована прокатка.

У термічних цехах може виникнути вибухопожежонебезпека при застосуванні олій при роботі з контрольованими атмосферами, із соляними, лужними печами-ваннами.

Особливо небезпечна система масло-кисень (повітря), коли масла при перегріві піддаються термічного розкладання і утворюють вуглецеві фракції.

Джерелами вибухонебезпечності є водоохолоджувані вузли, так як при несправності герметичність їх порушується і вода потрапляє в робочий простір печі; під дією високої температури вона інтенсивно випаровується, тому в результаті підвищення тиску печі може статися вибух; іноді вода розкладається, а при попаданні повітря в печі може утворитися гримуча суміш.

Вимоги до матеріалів, виробничого обладнання, організації робочих місць. Відповідно до [36] ділянки травлення металів, ціанування, рідинного азотування та свинцевих печей-ванн, а також ділянки підготовки твердого карбюратора, дифузної металізації та борування повинні бути відокремлені від інших ділянок відділення (цехів) термічної обробки металів.

При термічній та хіміко-термічній обробці повинні застосовуватись олії, кислоти, луки та інші хімічні речовини, на які затверджено нормативно-технічну документацію.

Кислоти, луги, легкозаймісті та горючі рідини, що використовуються в кількості понад 400 кг у робочу зміну, повинні подаватися до робочих місць трубопроводами. Навантаження виробів та деталей масою понад 20 кг та розвантаження їх повинні здійснюватися вантажно-розвантажувальними пристроями.

Приміщення термічних цехів, термічне обладнання та комунікації повинні бути оснащені контрольно-вимірювальними приладами для контролю рівня небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають у цьому процесі.

У місцях можливої локалізації дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів (термічні цехи відділення, ділянки на газопроводах та на лініях стисненого повітря) повинні бути встановлені швидкодіючі пристрої, що відсікають.

Приміщення термічних цехів обладнуються загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією.

Санітарно-епідеміологічні станції та лабораторії чистоти повітря при ОТБ підприємств повинні регулярно (згідно з графіком) проводити аналізи повітря на вміст у ньому ціаністих сполук, лугу, свинцю, СО, вуглеводнів, масляного аерозолю та ін.

Для запобігання утворенню вибухонебезпечних сумішей на печах з прорізами, що періодично відкриваються, застосовують полум'яні завіси. Якщо це недоцільно (велика тяга, великі розміри отворів тощо. буд.), необхідно передбачити установку запальних пальників, які забезпечують займання контрольованої атмосфери.

Для захисту замкнутих об'ємів від руйнування тиском за його зростанні застосовують вибухові (запобіжні клапани).

Попередження пожежо- та вибухонебезпечної ситуації при роботі із загартованими маслами досягається в результаті правильного вибору марки олії та режиму роботи. Ефективним засобом гасіння пожежі, викликаного займанням олії, можуть бути вуглекислотні вогнегасники (вони не

забруднюють загартовану олію). На великих масляних ваннах по краю резервуару доцільно створювати «вуглекислотний душ».

Ефективними є автоматичні протипожежні пристрої та системи придушення вибухів.

Охорона навколишнього середовища. Для зменшення забрудненості атмосфери влаштовують системи газоуловлювання та газоочищення; використовують гази, що містять СО та вуглеводні, для технологічних цілей; регулюють склад атмосфери (за допомогою електropечей опору з контрольованою атмосферою та іншими); замінюють процеси з великим газовиділенням (нагрів у соляних ваннах) іншими. Для зменшення забруднення атмосферного повітря (особливо при викиді відхідних промислових газів), для технологічної підготовки газів і вилучення з газів корисних матеріалів проводиться пиловловлювання за допомогою пиловловлювачів, вбудованих в основне або виносне обладнання.

Для відстоювання стічних вод можуть застосовуватися горизонтальні та вертикальні відстійники з тривалістю відстоювання не менше 2 год.

Правила безпеки під час роботи на електричних печах. Вимоги техніки безпеки до влаштування та встановлення електричних печей зведені до Правил пристрою електроустановок. З них стосовно печей слід зазначити такі положення.

На металевих конструкціях самих печей і в безпосередній близькості від них дозволяють установку тільки сухих понижувальних та регулювальних трансформаторів, а також трансформаторів з негорючої рідини та щитів управління. Усі каркаси печей та щити повинні бути заземлені.

Всі апарати та прилади на печах слід розташовувати таким чином, щоб було забезпечене безпечне обслуговування й іскри або електричні дуги, що виникають в апаратах при їх експлуатації, не могли завдати шкоди обслуговувальному персоналу, викликати коротке замикання або замикання на землю. Від оголених ділянок, що знаходяться під напругою, до огороження повинні бути забезпечені відстані: не менше 100 мм при сітках та 50 мм при суцільних знімних огороженнях.

Електричні апарати (пускачі, контактори тощо) та пірометричні прилади рекомендують встановлювати на окремих щитах. Не допускають прокладання в одній трубі дротів пірометричних ланцюгів з проводами силових ланцюгів.

Необхідно повністю виключити можливість випадкового дотику обслуговуючого персоналу до нагрівальних елементів під напругою вище 36 В. З цією метою застосовують блокування, що відключають електропечі від мережі при відкриванні вікон печі.

Зазначені вимоги поширюються на печі, що працюють при напрузі до 1000 В. До печей, при напрузі вище 1000 В, висувають більш жорсткі вимоги, які також обмежуються в Правилах електроустановок. У печах з примусовою циркуляцією робочої атмосфери, в яких не виключається викид пального газу через відкритий отвір печі, має бути передбачене блокування, яке відключає живлення електродвигунів пічних вентиляторів, що забезпечують циркуляцію пічної атмосфери перед відкриттям заслінки або кришки.

У печах з механізованим підйомом та опусканням заслінок повинна бути виключена можливість мимовільного опускання заслінок при відключенні або поломці механізму. Пристрої, що створюють полум'яні завіси, а також свічки продувки і отвори електропечей, повинні бути обладнані запальниками, що забезпечують займання вхідних газів.

Електричні печі та агрегати повинні бути надійно заземлені та ізольовані. Завантаження, вивантаження, очищення, ремонт та огляд електричних печей, щоб уникнути короткого замикання та ураження електричним струмом, повинні проводитися в знеструмленому стані, тобто при повній знятій напрузі.

У процесі роботи забороняється включати рубильник та пускову кнопку за допомогою металевих предметів-кліщів, кочерги тощо. Не можна користуватися несправними рубильниками, кнопкою пускової або штепселем. 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.

Висновок

Технологічний процес виготовлення штампового інструменту включає попередню термічну обробку, чорнову механічну обробку, чистову механічну обробку, остаточну термічну обробку, доведення розмірів та хіміко-термічну обробку.

Як попередня термічна обробка для заготовки матриці після кування застосовується рекристалізаційний відпал. Рекристалізаційний відпал включає нагрівання заготовки після кування вище температури рекристалізації, витримку при цій температурі. Після рекристалізаційного відпалу сталі У8А її структура – пластинчастий перліт (НВ 180-187).

Після чорнової механічної обробки заготовку піддають термополіпшенню. Гартування з високим відпустком одночасно підвищує тимчасовий опір, межу плинності, відносне звуження і ударну в'язкість, знижує твердість (HRC 28-32). Структура після термопокращення – зернистий сорбіт. Така структура та властивості сталі сприяють поліпшенню механічної обробки деталі.

У якості зміцнювальної хіміко-термічної обробки вирубного штампу зі сталі У8А застосуємо боросиліціювання в порошковому карбюризаторі. Боросиліціювання в порошкоподібних сумішах, як і борування, помітно підвищує корозійно-втомну міцність сталі.

Після боросиліціювання проводять гартування та низький відпуск для зміцнення внутрішніх шарів деталі.

Структура боридосиліцидних покриттів при спільному боросиліюванні залежить від складу насичувальної суміші, вмісту вуглецю в сталі, що насичується, температури і тривалості насичення. Встановлено, що у разі насичення заліза та сталі у сумішах, що містять кремній складового компонента менше 10 % покриття складаються з борідних фаз, що мають голкоподібну

будову та орієнтування подібно до того, як це спостерігається при боруванні. Обладнання термічних цехів поділяється на основне та допоміжне.

Основне обладнання: для проведення рекристалізованого відпалу застосуємо камерну електропіч опору СНЗ 6,5.13.4/10; для проведення гартування застосуємо камерну електропіч опору СНЗ 3.6,5.2/10; відпуск проводимо у відпускній печі типу СНО2,5.5,0.1,7/7.

Розглянута техніка безпеки при термічній та хіміко-термічній обробці.

ВИСНОВОК

В результаті виконання завдання випускної кваліфікаційної роботи був проведений аналіз умов роботи штампового інструменту для холодного деформування, запропонована маршрутна технологія виготовлення матриці вирубного штампу, проаналізовані можливі причини руйнування і втрати працездатності деталі. обґрунтований матеріал для виготовлення деталі.

1. Розглянуті умови роботи штампового інструменту. Штамповий інструмент як для холодного характеризуються величиною питомих тисків, характером навантаження і температурою розігріву робочих частин. Інструмент холодного деформування у тому числі вирубні штампи працюють при високих питомих тисках до 2200-2500 МПа та при температурах розігріву ріжучих кромок до 150-200°C штампування м'яких матеріалів та до 400-500°C при деформуванні високоміцних матеріалів.

Однією з основних причин низької працездатності важконавантажених інструментів для холодного деформування є крихке руйнування. Так само як і для інших операцій штампування, передчасні поломки інструментів зазначеного призначення пов'язані у ряді випадків з випадковими навантаженнями, які можливі навіть при незначних, на перший погляд, відступах від технології та особливо небезпечні для інструментів з конструктивно немінучими концентраторами напружень. В роботі наведено найпоширеніші причини виходу з ладу штампового інструменту.

2. Проведений літературний і патентний огляд методів і технологій зміцнення штампового інструменту. Розглянуті технології іонного азотування і борування.

3. Проведений аналіз марок сталей, що використовуються для виготовлення штампового інструменту. Це як правило високовуглецеві і низьколеговані сталі. Запропонована сталь У8А. Проведено порівняння її зі сталлю ХВГ. Рекомендується деталі із вуглецевих сталей піддавати наступній хіміко-термічній обробці – азотуванню або боруванню. Більшою

прогартованістю та міцністю володіють сталі типу ХВГ, вони надійно працюють на знос та при ударних навантаженнях за рахунок невеликої кількості залишкового аустеніту.

4. Запропонований технологічний процес виготовлення матриці вирубного штампу. Він повинен забезпечити виконання всіх вимог до точності і якості деталі в цілому, передбачених кресленнями і технічними умовами, при найменших затратах праці і мінімальної собівартості. Технологічний процес виготовлення штампового інструменту включає попередню термічну обробку, чорнову механічну обробку, чистову механічну обробку, остаточну термічну обробку, хіміко-термічну обробку та доведення розмірів.

5. Як попередня термічна обробка для заготовки матриці після кування застосовується рекристалізаційний відпал. Після чорнкової механічної обробки заготовку піддають термополіпшенню. Гартування з високим відпуском одночасно підвищує тимчасовий опір, межу плинності, відносне звуження і ударну в'язкість, знижує твердість (HRC 28-32). Структура після термопокращення – зернистий сорбіт. Така структура та властивості сталі сприяють поліпшенню механічної обробки деталі.

6. У якості зміцнювальної хіміко-термічної обробки вирубного штампу зі сталі У8А застосуємо боросиліціювання в порошковому карбюризаторі. Боросиліціювання в порошкоподібних сумішах, як і борування, помітно підвищує корозійно-втомну міцність сталі. Після боросиліціювання проводять гартування та низький відпуск для зміцнення внутрішніх шарів деталі.

7. Призначене основне обладнання для проведення термічної обробки. Для проведення рекристалізаційного відпалу застосуємо камерну електропіч опору СНЗ 6,5.13.4/10; для проведення гартування - камерну електропіч опору СНЗ 3.6,5.2/10; відпуск проводимо у відпускній печі типу СНО2,5.5,0.1,7/7. Розглянута техніка безпеки при термічній та хіміко-термічній обробці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Владимиров В.М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений – М.: Высш. школа, 1981.- 431с.
2. Зубцов М.Е., Корсаков В.Д. Стойкость штампов – Л.: Машиностроение, 1971. – 200 с.
3. Позняк Л.А. Штамповые стали. - М: Металлургия; 1980. – 244 с.
4. Голуб Д. М., Кушій Г. М., Гайворонський О. О. Вплив термообробки на механічні властивості наплавленого металу в штампових сталях // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. - № 2 (46), 2019. 11-16.
5. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В. М. Власов. – М. : Машиностроение, 1987. – 306 с.
6. Каплун В. Г., Каплун П. В. Ионное азотирование в безводородных средах: монография / В. Г. Каплун, П. В. Каплун. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 318 с.
7. Механика разрушения и прочность металлов: справ. пособие: в 4 т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. – К. : Наук. думка, 1988. – Т. I: Основы механики разрушения / В. В. Панасюк, А. А. Андрейков, В. З. Партон. – 488 с.
8. Забезпечення захисту поверхонь торцевих імпульсних ущільнень турбомашин шляхом формування зносостійких наноструктур: монографія / за заг. ред.. В. Б. Тарельника / В.Б. Тарельник, Є.В. Коноплянченко, О.П. Гапонова, Н.В. Тарельник. Суми: Видавництво "Університетська книга". – 2022.- 252 с. 14,65 друк арк.
9. Верещака А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 162 с.
10. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 126 с.

11. Солнцев С. С. Защитные покрытия металлов при нагреве / С. С. Солнцев, А. Т. Туманов. – М. : Машиностроение, 1976. – 240 с.
12. Резонансный метод определения упругих свойств неоднородных материалов. Механика неоднородных структур / И. Л. Куприянов, А. В. Мазовко, М. А. Геллер и др. – Львов : ЛГУ, 1987. – Т. 2. – С. 166–167.
13. Гузанов Б. Н. Влияние защитных покрытий на механические свойства жаропрочных сплавов / Б. Н. Гузанов, В. Г. Сорокин, С. В. Косицын // Проблемы прочности. – 1984. – № 1. – С. 100–103.
14. Дубинин Г.Н. Применение алитирования и диффузионного хромирования сталей X18H10T и X12H22T3MP с целью защиты поверхности от схватывания / Г. Н. Дубинин, Б. А. Ушаков // Защитные покрытия на металлах. – К. : Наук. думка, 1975. – Вып. 9 – С. 177–182.
15. Францевич И. М. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов: справочник / И. М. Францевич, Ф. Ф. Воронов, С. А. Бакума. – К. : Наук. думка, 1982. – 287 с.
16. Хасуй А. Техника напыления / А. Хасуй. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
17. Дехтярь Л. И. Экспериментальное определение остаточных напряжений в телах неоднородной структуры рентгеновской тензометрией / Л. И. Дехтярь // Механика неоднородных структур. – Львов : ЛГУ, 1987. – Т. 2. – С. 102.
18. Msn L. Evaluation of the mechanical properties and environmental resistance of rene-125 and X-40 superalloys coated with controlled composition reaction-sintered Co-Ni-Cr-Al-Yb Thin Solid Films / L. Msn, A. R. Stelson. – 1980. – V. 73. – P. 2. – P. 419–428
19. Максимович Г. Г. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении металлов с покрытиями / Г. Г. Максимович, В. Ф. Шатинский, В. И. Копылов. – К. : Наук. думка, 1983. – 248 с.
20. Аммосов А. П. Повышение трещиностойкости сварных соединений созданием мех. неоднородности / А. П. Аммосов, В. П. Ларионов, В. В. Попов // Механика неоднородных структур. – Львов, ГГУ. – 1987. – С. 9.

21. Термоусталостная прочность и жаростойкость защитных покрытий / Л. Б. Гецов, А. И. Рыбников, Н. И. Дыбина, А. А. Мороз // Проблемы прочности. – 1983. – № 2. – С. 69–72.

22. Похмурский В. И. Влияние диффузионных покрытий на эксплуатационные свойства материалов и сплавов / В. И. Похмурский // Физ.-хим. мех. материалов. – 1976. – С. 10–16.

23. Шорторов М. Х. Влияние среды и состояния поверхности на процесс пластической деформации кристаллов / М. Х. Шорторов, В. П. Алёхин // Обзор. – 1976. – № 1. – С. 61–76.

24. Михайлов А. А. Влияние хромирования на прочность стальных деталей / А. А. Михайлов // Твердые износостойкие электролитические покрытия в машиностроении и при ремонтных работах. – М. : МДНГП. – 1996. – С. 3–16.

25. Taylor D. E. Sprayed molybdenum coating as a protection against fretting fatigue / D. E. Taylor, R. B. Waterhowol. – Wear. – 1972. – N 3. – P. 401–407.

26. Лахтин Ю. М. Азотирование в тлеющем разряде / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган // Технология и механизация термической обработки металлов. – М., 1974. – 37 с.

27. Эденхофер Б. Использование электроэнергии для упрочнения поверхности с помощью процесса ионного азотирования / Б. Эденхофер // World Electrotechnical Congress. – М., 1987. – С. 28.

28. Файншмидт Е.М., Пегашкин В.Ф. Химико-термическая обработка инструмента горячей штамповки // МиТОМ. 2000. № 7. С. 10–14.

29. Костик К. О. Розробка швидкісної технології борування легованої сталі // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. - 6/11 (78). - С. 8-15.

30. А. с. № 779438. СССР. МКИ С 21 С 9/10. Расплав для борирования стальных деталей / Г.И. Беляева, Е.М. Файншмидт, Я.Б. Чернов.

31. ГОСТ 1435-74. Сталь нелегированная инструментальная. Технические условия.

32. ГОСТ 5950 – 2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия.

33. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Под общ. Ред. проф Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.

34. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем. В 3-х т. – 1996.

35. Кайдаш Н.Г., Четверикова Л.Н. Структура и свойства боридосилицидных покрытий на железе и стали // Вісник Черкаського національного університету. Серія „Фізико-математичні науки”. – Черкаси, вид-во ЧНУ, 2007, Випуск 114. - С. 89-115

36. Долженников И.Е., Стародубов К.Ф., Спасов А.А. Основы проектирования термических цехов – К., Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 215 с.

37. ГОСТ 12.3.004-75. ССБТ. Термічна обробка металів. Загальні вимоги безпеки.