

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 і термічної обробки матриці прес-форми

Виконав:

Пилипенко Артур Миколайович

Керівник:

Берладір Христина Володимирівна

Залікова книжка

№ 20510124

Підпис \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК

\_\_\_\_\_

Оцінка, дата

\_\_\_\_\_ Марченко К.С.

Прізвище, підпис

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.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Пилипенку Артуру Миколайовичу, група МТ-91  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення і термічної обробки матриці прес-форми

2. Вихідні дані: Креслення деталі «матриця» 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 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 \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

ст. викладач, Берладір Х. В.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра вміщує 56 сторінок, зокрема 11 рисунків, 19 таблиць та список із 19 літературних джерел на 2 сторінках.

**Мета роботи** – вибір марки сталі, розробка маршрутної технології виготовлення деталі «матриця прес-форми» та призначення режимів термічної і хіміко-термічної обробки для вибраної марки сталі.

**Для досягнення поставленої мети, у роботі вирішувалися наступні завдання:**

1. Провести аналіз умови роботи деталі «матриця прес-форми» для пресування композиційних матеріалів.
2. Провести літературний огляд.
3. Обрати матеріал для виготовлення деталі.
4. Розробити маршрутну технологію виготовлення деталі «матриця прес-форми» для пресування композиційних матеріалів.
5. Запропонувати режими термічної та хіміко-термічної обробки деталі «матриця прес-форми».
6. Обрати основне, допоміжне і додаткове обладнання для проведення термічної, хіміко-термічної обробки, контролю якості та транспортування деталей для проектування термічної ділянки обробки деталі «матриця прес-форми».

В роботі запропоновано хіміко-термічну обробку деталі методом борування для збільшення зносостійкості і корозійної стійкості сталі 45.

ПРЕС-ФОРМА, МАТРИЦЯ, БОРУВАННЯ, ПОРОШКОПОДІБНА СУМІШ, СТАЛЬ 45, ВЛАСТИВОСТІ, ТВЕРДІСТЬ, СТРУКТУРА.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	3
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ	5
Висновок .....	9
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	10
2.1. Отримання заготовок методом пресування з композиційних матеріалів .....	10
2.2. Сталі, що застосовуються для виготовлення прес-форм .....	14
2.3. Фактори, які впливають на стійкість прес-форм .....	18
2.4. Точність та якість обробки деталей прес-форм .....	19
Висновок .....	22
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	23
3.1. Вибір матеріалу деталі «матриця прес-форми» .....	23
3.2. Методика досліджень .....	29
Висновок .....	30
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....	31
Висновок .....	33
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ...	34
5.1. Розробка методу термічної та хіміко-термічної обробки .....	34
5.2. Вибір і розрахунок кількості обладнання для термічної обробки ....	39
5.3. Розрахунок обладнання термічної ділянки .....	44
5.4. Проектування плану дільниці (відділення, цеху) та вантажопотоків	47
Висновок .....	49
ВИСНОВКИ .....	50
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	51
ДОДАТОК А .....	53
ДОДАТОК Б .....	54
ДОДАТОК В .....	55

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

Прес-форма – пристрій для отримання виробів різної конфігурації з металів, пластмас, гуми та інших матеріалів під дією тиску, створюваного на ливарних машинах або прямим пресуванням [1].

Прес-форми застосовують при литті під тиском металів і полімерних матеріалів, литті по виплавленим моделям, пресуванні полімерних матеріалів. Розрізняють безліч видів прес-форм: ручні, напівавтоматичні та автоматичні; знімні, напівзнімні та стаціонарні; з горизонтальною і вертикальною площинами роз'єму; з однією або декількома площинами роз'єму [2].

Прес-форма складається з нерухомої частини (матриці) і рухомої частини (пуансона), формувальні порожнини яких є зворотним відбитком зовнішньої поверхні заготовки. В одній прес-формі може одночасно формуватися кілька деталей (багатомісні форми). Підведення матеріалу до формуючої порожнини здійснюється через ливникову систему: центральний, розвідні і впускні ливники, а знімання готового виробу – за допомогою системи виштовхування. Залежно від матеріалу і вимог до одержуваної заготовки у формі підтримують певний температурний баланс. Для регулювання температури форми, в основному, використовують воду, пропускаючи її через канали охолодження [3].

Зважаючи на відносно високу вартість прес-форм, їх використання, в основному, характерно для серійного і масового виробництва.

*Прес-форми прямого пресування.* У прес-формі прямого пресування завантажувальна камера є продовженням матриці. Матеріал завантажують в матрицю, де він, нагріваючись, набуває пластичності, а потім ущільнюється під дією пуансона. Прес-форма прямого пресування повністю змикається, коли остаточно оформлено виріб. Такий клас прес-форм використовують для виробництва малих партій простих по конфігурації виробів.

*Прес-форми ливарного пресування.* У прес-формі ливарного пресування завантажувальна камера виконується окремо від формотворної порожнини і перед заповненням її матеріалом прес-форма повністю зімкнута. Прес-матеріал надходить з завантажувальної камери в формоутворювальну порожнину через ливникові отвори (канали). Прес-форми ливарного пресування виконуються з верхньої або нижньої завантажувальної камерою. Такий клас прес-форм використовують для масового виробництва виробів практично будь-якої складності.

Представлена на рис. 1.1 прес-форма призначена для отримання заготовки типу втулки з полімерного композитного матеріалу з матрицею з політетрафторетилену і різних наповнювачів (вуглецеве волокно, кокс, графіт тощо) компресійним пресуванням.

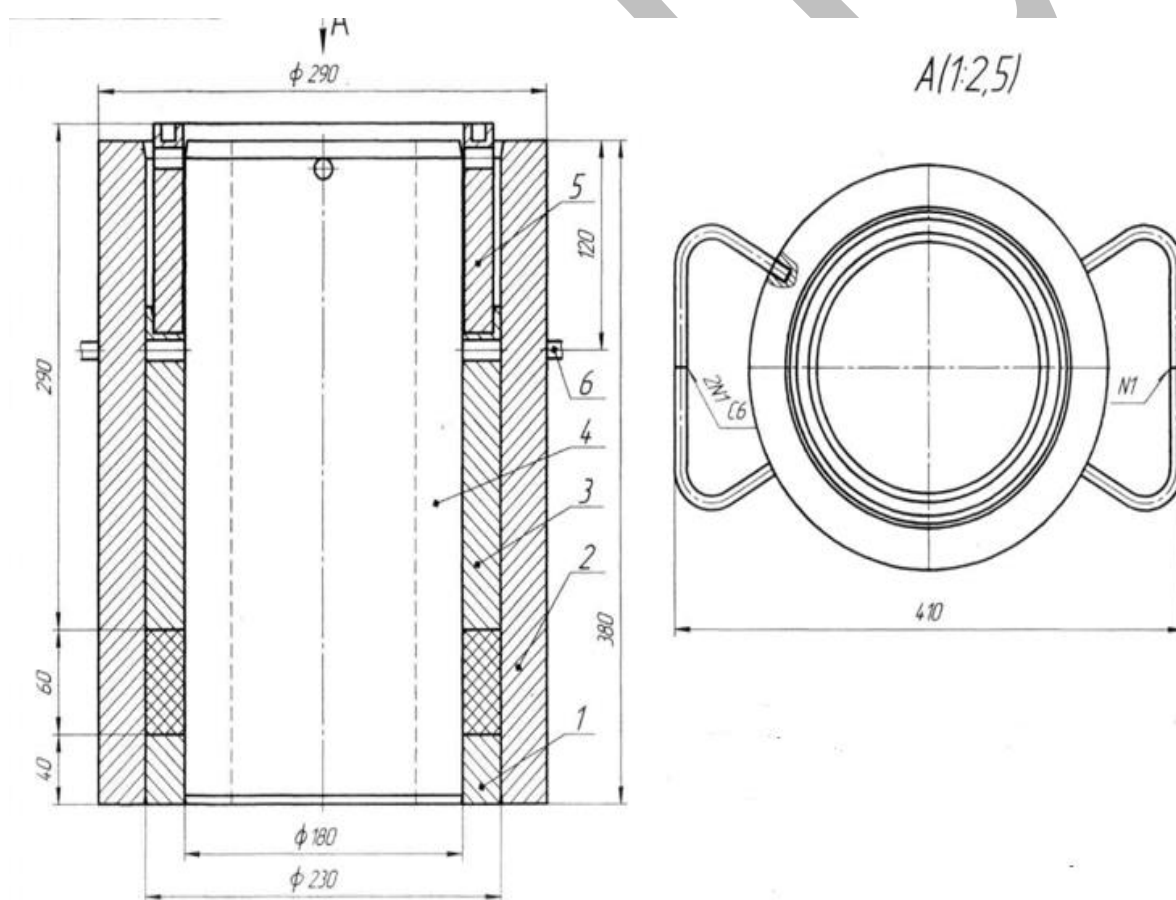


Рисунок 1.1 – Прес-форма в зборі: 1 – втулка, 2 – матриця, 3 – пуансон, 4 – знак, 5 – штовхач, 6 – ручка.

У процесі роботи матриця 2, втулка 1 і знак 4 прес-форми встановлюються на нижню плиту преса. У зазор між матрицею і знаком за допомогою воронки засипається порошкова композиція (приготована суміш полімеру і вуглецевого волокна). Для виходу повітря з суміші роблять довільні надколи «душником». Далі встановлюють пуансон 3 і штовхач 5. Тиск пресування передають на суміш верхньою рухомою плитою преса через штовхач і пуансон. Тиск пресування для композиції 600 кг/см<sup>2</sup>. Після закінчення циклу пресування готова заготовка витягується з порожнини матриці за допомогою спеціального пристосування.

У процесі роботи всі деталі прес-форми відчують статичне навантаження. Міцність прес-форми забезпечується правильним розрахунком перетинів, вибором матеріалу і термічною обробкою.

Найбільш ймовірні причини виходу з ладу прес-форми наступні [4]:

- перевищення розрахункового тиску пресування;
- заклинювання і поломка рухомих частин, внаслідок перекосу;
- знос поверхонь прес-форми частинками пресованого матеріалу;
- корозійне руйнування поверхонь, в слідстві впливу різних наповнювачів пресованої суміші і вологи.

Матриця (рис. 1.2) є формотворною деталлю прес-форми для оформлення поверхні нижньої частини виробу. Вона закріплюється на нижній плиті прес-форми та слугує для базування усіх інших елементів прес-форми.

У процесі роботи всі поверхні деталі відчують статичне навантаження, пов'язане з процесом пресування. Зовнішня поверхня Ø 290 мм і внутрішня Ø 230 мм; h – 380 мм, в процесі роботи «труться» по поверхні, що сполучаються, пуансона і частинок порошку.

Попадання частинок порошку в зазори між сполучними елементами прес-форми приводить до виникнення зносу поверхонь.

Нижнє кільце прес-форми безпосередньо взаємодіє з пресованим матеріалом в процесі роботи. Наявність хімічно активних речовин у

пресованому матеріалі і волога може викликати різні види корозії поверхонь матриці.

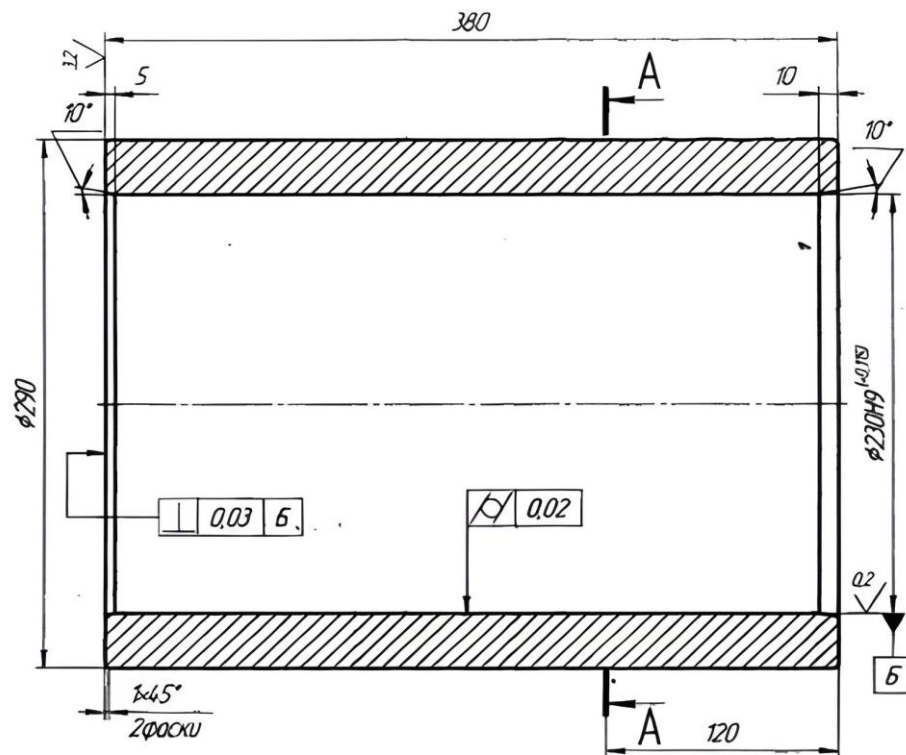


Рисунок 1.2 – Матриця прес-форми.

У результаті проведення аналізу умов роботи вузла і деталі можна сформулювати вимоги до матеріалу деталі – матриця [5]:

- висока зносостійкість;
- чистота робочої поверхні (зменшення втрат тиску на тертя);
- корозійна стійкість;
- висока міцність виробів;
- достатня в'язкість;
- хороша прогартуваність;
- мала схильність до окислення;
- мінімальні деформації і викривлення при термічній обробці;
- хороша оброблюваність різанням;
- хороша зварюваність.



## Висновок

Прес-форма – пристрій для отримання виробів різної конфігурації з металів, пластмас, гуми та інших матеріалів під дією тиску, створюваного на ливарних машинах або прямим пресуванням.

Прес-форми застосовують при литті під тиском металів і полімерних матеріалів, литті по виплавлюваним моделям, пресуванні полімерних матеріалів.

Прес-форма складається з нерухомої частини (матриці) і рухомої частини (пуансона), формувальні порожнини яких є зворотним відбитком зовнішньої поверхні заготовки. В одній прес-формі може одночасно формуватися кілька деталей (багатомісні форми).

У процесі роботи всі деталі прес-форми відчують статичне навантаження. Найбільш ймовірні причини виходу з ладу прес-форми наступні:

- перевищення розрахункового тиску пресування;
- заклинювання і поломка рухомих частин, в слідстві перекоосу;
- знос поверхонь прес-форми частинками пресованого матеріалу;
- корозійне руйнування поверхонь, в слідстві впливу різних наповнювачів пресованої суміші і вологи.

Міцність прес-форми забезпечується правильним розрахунком перетинів, вибором матеріалу і термічною обробкою.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2.1. Отримання заготовок методом пресування з композиційних матеріалів

Компресійне пресування – один з перших і найбільш поширених методів отримання заготовок простої форми у вигляді втулок, пластин, стрижнів, з яких після термічної обробки виготовляють вироби, в більшості випадків, механічною обробкою на металорізальних верстатах [6].

Суть методу компресійного пресування полягає в отриманні з пухкого порошку термопластичного полімеру з насипною щільністю від 0,2 до 0,7 г/м<sup>3</sup> таблетки – заготовки з щільністю від 1,83 до 1,95 г/см<sup>3</sup> в результаті більш щільної упаковки частинок порошку під впливом прикладеного до нього тиску – від 25 до 50 МПа. У процесі додавання тиску до пресованого порошку відбуваються поступове зближення частинок порошку за рахунок видалення повітря, що міститься всередині порошку, деформація частинок і їх часткова орієнтація у площині пресування. При цьому слід мати на увазі, що в процесі пресування додається тиск, який зменшується за рахунок тертя частинок порошку по стінкам прес-форми, що зумовлює виникнення градієнта щільності по висоті пресованої таблетки, який тим більше, чим більше висота засипаного порошку. Так, для заготовок висотою 200 мм при тиску пресування близько 25 МПа щільність спресованого порошку знаходиться в межах від 1,68 до 1,93 г/см<sup>3</sup> від низу до верху заготовки [6].

Такий же характер градієнта щільності зберігається і в спечених заготовках, але це викликає анізотропію властивостей готового виробу невеликих розмірів і невеликий серійності.

Для виготовлення великогабаритних таблеток використовуються стаціонарні прес-форми з системою виштовхування. При великій серійності дрібних виробів можуть застосовуватися стаціонарні багатогніздні прес-

форми. Рівнощільні таблетки висотою більше 100 мм отримують в прес-формах з плаваючою матрицею, яка дозволяє здійснити двостороннє пресування на звичайних одноходових пресах.

Технологічний процес таблетування включає наступні стадії: підготовка преса і прес-форми; засипання порошку в прес-форму; попереднє підпресування; витримка при максимальному тиску пресування; зняття тиску; витягання таблетки з прес-форми.

Перед початком пресування встановлюють необхідний манометричний тиск. На нижню плиту преса встановлюють і закріплюють прес-форму, нижній пуансон прес-форми поміщають на виштовхувач пресу, а верхній пуансон кріплять до верхньої плити преса. Щоб уникнути перекосів і виходу з ладу прес-форми, необхідно ретельно центрувати матрицю і стрижень прес-форми щодо пуансонів.

При досить тривалій експлуатації прес-форми неминуче поступове накопичення масла на поверхні верхньої плити, що може потрапити в порошок в процесі засипки його в прес-форму і привести до браку. Щоб уникнути цього, масло слід періодично видаляти з плити преса. Перед засипанням термопластичного полімеру деталі прес-форми, дотичні з порошком, протирають розчинником – бензином, ацетоном і начисто протирають бяззю, змоченою в спирті.

Для отримання виробів необхідних розмірів наважку порошку  $G$  визначають за формулою (1).

$$G = V \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де  $V$  – об'єм виробу,  $\text{см}^3$ ;  $\rho$  – щільність спеченого виробу,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Зважують наважку, зазвичай, на технічних вагах. Для зручності засипки порошку в прес-форму застосовуються воронки, виготовлені з нержавіючої сталі або алюмінієвих сплавів. Найбільш відповідальним моментом при засипці порошку в прес-форму є його розрівнювання за площею пресування, оскільки отримання рівнощільної та якісної таблетки без тріщини і викривлення досягається за рахунок ретельного розподілу порошку в

порожнині прес-форми. При пресуванні виробів типу пластин, дисків порошок в прес-форму засипають совком і розрівнюють лінійкою. При пресуванні таблетки у формі втулки для виключення утворення склепінь для розрівнювання порошку використовуються тонкі металеві стрижні діаметром до 4 мм.

В окремих випадках при отриманні таблеток великогабаритних виробів рівномірний розподіл порошку в порожнині прес-форми забезпечується вібрацією стенду з частотою коливань 50 Гц. Рівномірне заповнення прес-форми значно спрощується при використанні агломерованих або вільно сипучих марок термопластів.

Процес пресування таблетки складається з трьох стадій: підйом тиску; витримка при максимальному тиску і зняття тиску [7].

Типова діаграма процесу пресування таблетки представлена на рис. 2.1.

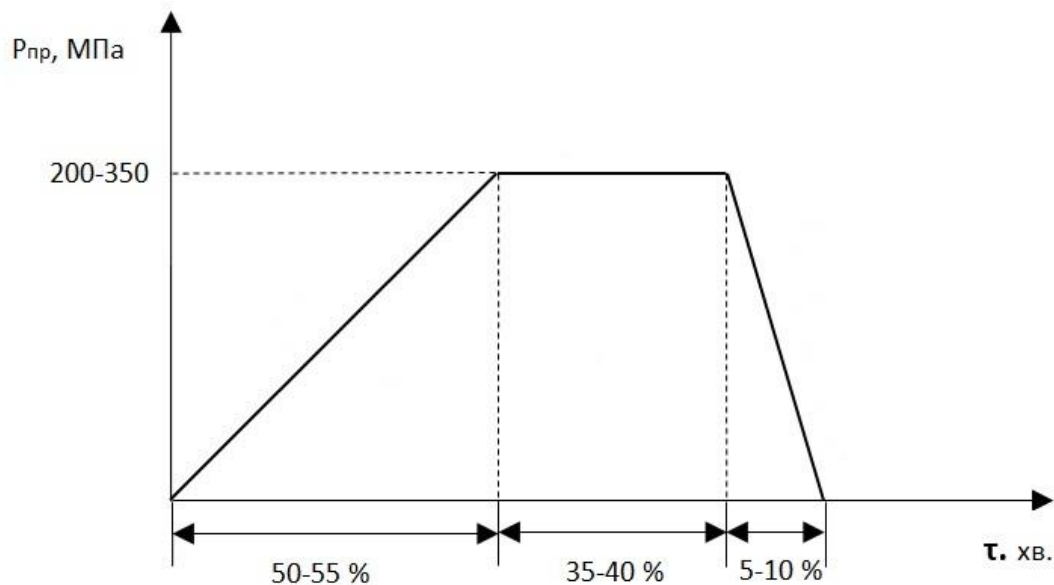


Рисунок 2.1 – Діаграма компресійного пресування.

При додаванні тиску відбувається ущільнення порошку за рахунок видалення з нього повітря. Для забезпечення найбільш повного видалення повітря необхідне плавне підвищення тиску; швидкість пресування на цій стадії не повинна перевищувати на початку процесу 50 і в кінці – 5 мм/хв.

Швидкість підвищення тиску при пресуванні великогабаритних таблеток повинна бути нижче швидкості пресування дрібних деталей: від 20 на початку процесу і до 3 мм/хв – в кінці.

Після досягнення максимального манометричного тиску пресування здійснюється витримка таблетки при цьому тиску, що забезпечує передачу тиску по всьому об'єму таблетки. Під час витримки таблетки при максимальному тиску відбувається деформація частинок матеріалу і заповнення порожнеч між частинками. Матеріал відчуває напруги стиснення. Максимальний тиск пресування чинить величезний вплив на властивості майбутнього виробу – в першу чергу, на міцність і фізико-механічні властивості. При цьому необхідно враховувати, що максимальний тиск пресування має бути оптимальним і не перевищувати гранично допустимого тиску для кожної марки матеріалу. Перевищення тиску викликає перенапруги на границях частинок порошку, що спричинить за собою утворення дрібних волосяних тріщин в таблетці. Практикою пресуванні встановлено, що час витримки таблетки при максимальному тиску становить приблизно 1 хв. на 1 кг маси виробу, для великогабаритних таблеток час витримки може бути скорочено 0,5 хв.

Напруги стиснення, які акумулюються в процесі витримки таблетки під тиском, можуть викликати її розтріскування. Тому після витримки таблетки тиск пресування слід знімати поступово: протягом 10-20 с – для дрібних таблеток і до 5-10 хв. – для великогабаритних таблеток. Після повного зняття тиску таблетка збільшується по висоті на 2-3 % за рахунок релаксації в ній пружних напружень стиснення.

Останньою операцією є витягання таблетки з прес-форми. Операція виштовхування повинна проводитися за один безперервний і плавний хід виштовхувача, що виключає ривки і зупинки при русі. У процесі пресування таблетка піддається радіальним напруженням, що не знімаються після зняття тиску пресування. Ці напруги можуть викликати незначне збільшення заготовки по діаметру – до 1-2 %, тому будь-яка зупинка в процесі

виштовхування таблетки може привести до передчасного розширення матеріалу, в результаті якого утворюються тріщини по колу, які проявлять себе під час спікання таблетки. Для виключення утворення тріщин таблетки з центральним отвором слід витягати разом з дорном. Рекомендована швидкість витягання таблетки – від 10 до 20 мм/с. У витягнутої з прес-форми таблетці ще тривалий час залишаються залишкові напруги стиску, які можуть призвести до її розтріскування, якщо таблетку помістити в піч на спікання безпосередньо після пресування. Щоб уникнути цього, спресовану таблетку необхідно витримати у вільному стані при кімнатній температурі протягом 5-15 год. залежно від маси таблетки.

Метод компресійного пресування широко застосовується для виготовлення таблеток найпростішої форми – у вигляді стрижнів, плит, дисків, втулок, що використовуються в подальшому для виготовлення з них деталей механічною обробкою [6].

## **2.2. Сталі, що застосовуються для виготовлення прес-форм**

Формотворні деталі прес-форм працюють в умовах високих навантажень, відчуваючи великі зусилля на розтягнення і стиск в результаті впливу прес-матеріалу, стиснутого в формуючій порожнині. Тривалий нагрів до температури 160-180 °С (а іноді і вище), вплив кородуючих агентів (наприклад, церезину), що містяться в прес-матеріалі, – все це обумовлює високі вимоги до матеріалів, використовуваних для виготовлення деталей прес-форм.

З точки зору технології виготовлення прес-форм, матеріали, що застосовуються для формуючих деталей, повинні мати гарну оброблюваність (легке відділення стружки при найкращій чистоті оброблюваних поверхонь), мінімальну деформацію при термічній обробці (ця умова особливо важлива, оскільки формуючі деталі прес-форм мають складну конфігурацію і їх обробка

після гартування вельми складна), високу твердість термічно оброблених поверховий і достатню в'язкість.

З експлуатаційної точки зору, ці матеріали повинні володіти високою зносостійкістю, достатньою теплостійкістю, гарною механічною міцністю і опором корозії. Цим вимогам найкраще відповідають марки сталей 12ХНЗА, 38ХВФЮА і 20Х.

Застосування для виготовлення формуючих деталей прес-форм нержавіючих сталей марок 4Х13 або 3Х13 дозволяє уникнути операції хромування. У процесі роботи поверхню деталей з нержавіючих сталей, в результаті постійного впливу прес-матеріалу, набуває кращу (в порівнянні з початковою) чистоту і абсолютно не піддається корозії. Сталі марок 4Х13 і 3Х13 гартуються до HRC 50-48 і мало схильні до деформації.

Пуансони та матриці прес-форм, що виготовляються методом холодного видавлювання, виробляються з сталей, що володіють підвищеною пластичністю (наприклад, АРМКО або сталі марок 10 і 20).

У табл. 2.1 наведені марки сталей, що застосовуються для виготовлення різних деталей прес-форм [8].

Таблиця 2.1

Марки сталей, що застосовуються для різних деталей прес-форм і норми їх твердості

Найменування деталі	Марка сталі		Термообробка і твердість по Роквеллу HRC
	рекомендована	замінник	
1	2	3	4
Матриці та пуансони, вставки матриць і пуансонів простої конфігурації	4Х13, У10А	3Х13, У8А	Гартування, 50-52 Гартування, 50-56

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
Матриці, пуансони і вставки складної конфігурації без тонких виступів і послаблених перерізів	4X13, 12XH3A	3X13, 12XH2A	Гартування, 48-50 Цементация і гартування, 50-52
Матриці та пуансони складної конфігурації з тонкими виступами і послабленими перерізами	38XBΦЮА, 12XH3A	35XЮА, 12XH2A	Азотування HV = 900-1100 Гартування, 48-50
Матриці та пуансони, виготовлені методом холодного видавлювання	АРМКО, Сталь 10	Сталь 20, Ст. 3	Цементация і гартування, 56-60
Завантажувальні камери без обойми	Сталь 10	Ст. 3	Цементация і гартування, 56-57
Завантажувальні камери, укладені в обойми	У8А	У7	Гартування, 52-56
Пуансони до завантажувальних камер	У8А	-	Гартування, 56-58
Втулки ливникові та розсікачі	У8А	У8	Гартування, 52-54
Плити ливникові та знімання	У10А	-	Гартування, 52-56
Шибера, клини	У8	У7	Гартування, 46-50

Продовження табл. 2.1



1	2	3	4
Обойми стаціонарних прес-форм	Сталь 45	-	-
Обойми матриць з вертикальною площиною роз'єму	У8А	Сталь 20	Гартування, 52-56, цементация і гартування, 56-60
Пуансоно- і знакотримачі	Сталь 45	-	-
Верхні та нижні плити з'ємних прес-форм	У8А	У7	Гартування, 52-56
Верхні та нижні плити стаціонарних прес-форм	Сталь 45	Сталь 20	-
Плити обігріву стаціонарних прес-форм	Ст. 3	Сталь 45	-
Опорні бруси	Ст. 3	Сталь 20	-
Колонки і втулки напрямні	У8А	У7	Гартування, 50-54
Фіксатори і пілони	У8А	У8	Гартування, 44-48
Прихоплення для універсальних блоків	Сталь 45	Сталь 50	Цементация і гартування, 42-46
Цанги	У8А	У8	Гартування, 46-50
Плити пристосувань для роз'єму	Ст. 6	Ст. 5	-
Колонки пристосувань для роз'єму	Ст. 3	Ст. 2	Цементация і гартування, 42-46
Ручки для знімних прес-форм	Ст. 3	Ст. 2	-

### 2.3. Фактори, які впливають на стійкість прес-форм

Стойкість прес-форм визначається кількістю відпресовок до повного зносу формуючих елементів прес-форми.

Одним з видів браку є дефекти зовнішнього вигляду відпресованих виробів (подряпини, потемніння поверхонь тощо). Цей вид браку може бути виключений середнім ремонтом прес-форми .

Прийнято розрізняти проміжну стійкість, яка визначається ступенем зносу до першого ремонту і між декількома ремонтами, і повну стійкість, яка визначається повним зносом формуючих порожнин і втратою необхідних розмірів і геометричної форми. Ці фактори взаємно пов'язані, тому що більша проміжна стійкість, обумовлена більш тривалим періодом експлуатації прес-форми між ремонтами (до повної втрати розмірів), значно збільшує повну стійкість.

Стойкість прес-форм робить досить істотний вплив на вартість пресованих виробів і залежить від цілого ряду факторів, до числа яких слід віднести [9]:

- а) складність конструкції і конфігурації пресованих деталей;
- б) їх точність;
- в) характер прес-матеріалу;
- г) тип і конструкцію прес-форми;
- д) матеріал і термообробку форми деталей прес-форми;
- е) якість виготовлення прес-форми;
- ж) стан преса і ливникової машини.

Складність конструкції і конфігурації виробів значно знижує стійкість прес-форм. Наявність у виробі пазів невеликого перерізу або глибоких отворів, утворених елементами прес-форми, схильними до поломки, невелика товщина стінок виробу (0,8-1,2 мм) при відносно великій висоті (25-30 мм), що викликає необхідність додавання великого тиску пресування, тощо – все це викликає передчасний вихід прес-форми з ладу.

Пресування матеріалів з довговолокнистими і шаруватими наповнювачем вимагає підвищеного тиску пресування. Матеріали типу феполіт-1 і 2 та К-114-35 викликають корозію і швидкий знос формуючих поверхонь.

Знімні прес-форми менш стійкі порівняно зі стаціонарним. Роз'єм матриць стаціонарних прес-форм на кілька частин і велика кількість рухомих з'єднань прискорюють знос прес-форм. Неправильний вибір марки матеріалу (крихкість, мала зносостійкість тощо) є причиною поломки або швидкого зносу формуючих елементів. Неякісна термічна обробка, неякісне полірування, збільшені зазори в рухомих з'єднаннях, відсутність точного сполучення збірних елементів тощо значно скорочують тривалість експлуатації прес-форм.

Таким чином, комплекс факторів, що впливають на стійкість прес-форм, вельми великий, що створює труднощі при визначенні термінів їх експлуатації.

#### **2.4. Точність та якість обробки деталей прес-форм**

Точність виготовлення формотворчих елементів прес-форм визначається точністю пресованих виробів. Для виробів з допусками за 4-5-м класами точності формуючі елементи прес-форм виготовляються за 3-м, рідше - за 2-м класам точності ОСТ 1013 п. 1012.

Оскільки в багатьох випадках абсолютні розміри деталей, що не беруть участь у формоутворенні виробів, не мають великого значення (наприклад, при сполученні пуансонів з пуансонотримачами, завантажувальної камери – з матрицею), доцільно обумовлювати збірку посадками. Застосування нерухомих і рухомих посадок вимагає врахування характеру сполучення конкретних деталей, виходячи з умов їх експлуатації.

Ковзна посадка для сполучення рухомих елементів прес-форм небажана, оскільки при їх виготовленні за розмірами, близькими до номінальних, достатня рухливість таких деталей не буде забезпечено.

Застосування пресової посадки для нерухомих з'єднань термічно оброблених деталей (крім з'єднання збірних матриць і пуансонів) також небажано, оскільки велика різниця в розмірах отвору і валу ускладнює їх правильну збірку.

Виходячи з міркувань технологічного порядку та враховуючи нездатність прес-матеріалу затікати в зазори менше 0,04-0,05 мм, можна рекомендувати наступне:

1) всі нерухомі з'єднання типу з'єднання пуансона з тримачем, формуючих знаків – з пуансоном і матрицею, напрямних колонок і втулок – з отворами плит виконуються по тугій напруженій посадці (ОСТ 1012); нерухомі з'єднання збірних пуансонів і матриць при проходженні площині сполучення через формуючу порожнину робляться по першій пресової посадці 3-го класу точності (ОСТ 1009); рухливі з'єднання формуючих знаків і виштовхувачів з пуансоном або матрицею виконуються по ходовій посадці (ОСТ 1012); рухомі з'єднання, аналогічні з'єднанню пуансона з завантажувальної камерою, напрямних колонок – з втулками, виконуються по ходовій посадці 3-го класу точності (ОСТ 1013); всі розміри по висоті і довжині окремих деталей, що впливають на точність складання пакета прес-форм, як висота опорних плит, висота матриць, довжина виштовхувачів тощо – виконуються в межах допуску 0,03-0,05 мм;

2) непаралельність окремих складових елементів прес-форм (плит обігріву, нижніх і верхніх плит, опорних брусів тощо) не повинна перевищувати 0,05 мм.

Досить істотне значення для якісного виготовлення прес-форм мають чистота обробки поверхонь їх деталей. Формуючі порожнини матриць, пуансони та інші деталі, що безпосередньо беруть участь у формоутворенні виробів, поліруються до 10-го класу чистоти (ГОСТ 2789-73).

Дані по чистоті обробки деталей прес-форм, наведені на рис. 2.2.

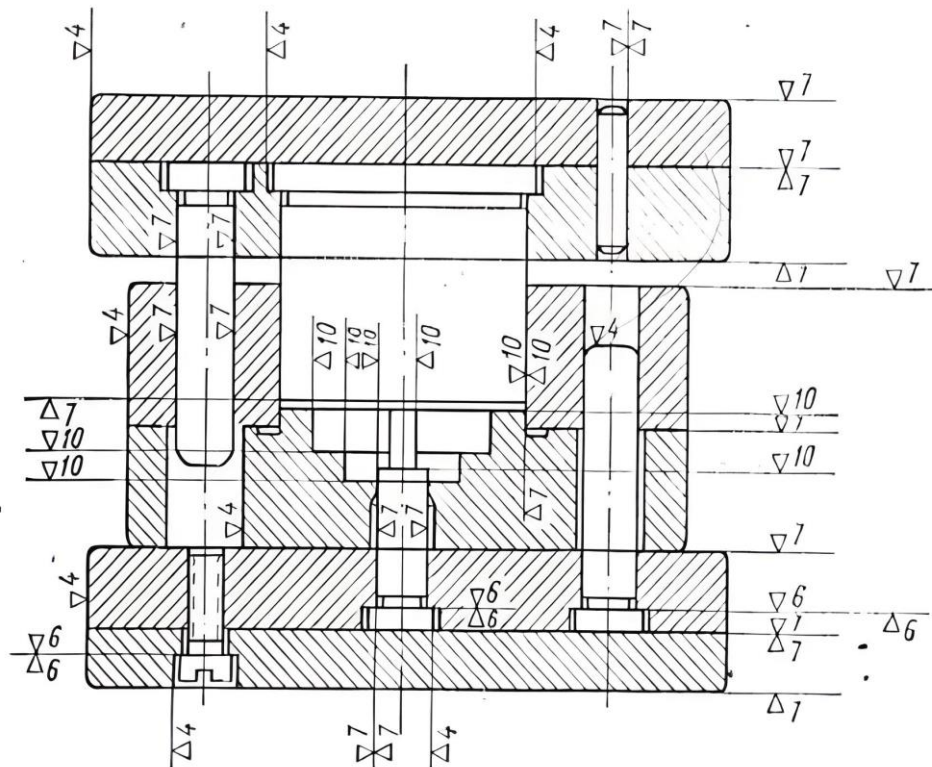


Рисунок 2.2 – Класи чистоти обробки поверхонь деталей знімних прес-форм.

Поверхні деталей, що працюють в процесі експлуатації прес-форми на тертя, хоча і не беруть участь у формоутворенні виробів (наприклад, виштовхувачі і отвори для них в матрицях), для збереження стабільності посадок обробляються до 8-го класу чистоти.

Площини деталей конструктивного призначення піддаються шліфуванню до 7-8-го класів чистоти (ГОСТ 2789-73).

Застосовується в якості захисного покриття формуючих елементів прес-форм від кородуючого впливу різних компонентів прес-матеріалу хромування, яке знижує чистоту поверхні.

Всі незазначені поверхні деталей обробляються V 4. Поверхні, які оформляють виріб, поліруються, хромуються і знову поліруються. Товщина покриття хромом – 0,005-0,01 мм.

## Висновок

Компресійне пресування – один з перших і найбільш поширених методів отримання заготовок простої форми у вигляді втулок, пластин, стрижнів, з яких після термічної обробки виготовляють вироби, в більшості випадків, механічною обробкою на металорізальних верстатах.

Технологічний процес таблетування включає наступні стадії: підготовка преса і прес-форми; засипання порошку в прес-форму; попереднє підпресування; витримка при максимальному тиску пресування; зняття тиску; витягання таблетки з прес-форми.

Формотворні деталі прес-форм працюють в умовах високих навантажень, відчуваючи великі зусилля на розтягнення і стиск в результаті впливу прес-матеріалу, стиснутого в формуючій порожнині. Тривалий нагрів до температури 160-180 °С (а іноді і вище), вплив кородуючих агентів (наприклад, церезину), що містяться в прес-матеріалі, – все це обумовлює високі вимоги до матеріалів, використовуваних для виготовлення деталей прес-форм.

З експлуатаційної точки зору, ці матеріали повинні володіти високою зносостійкістю, достатньою теплостійкістю, гарною механічною міцністю і опором корозії. Цим вимогам найкраще відповідають марки сталей 12ХНЗА, 38ХВФЮА і 20Х. Застосування для виготовлення формуючих деталей прес-форм нержавіючих сталей марок 4Х13 або 3Х13 дозволяє уникнути операції хромування.

Стійкість прес-форм визначається кількістю відпресовок до повного зносу формуючих елементів прес-форми. Стійкість прес-форм робить досить істотний вплив на вартість пресованих виробів і залежить від цілого ряду факторів.

## РОЗДІЛ 3

### ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Вибір матеріалу деталі «матриця прес-форми»

Для виготовлення деталі «матриця прес-форми» в заводському і розробленому варіанті застосовувалася сталь 45.

Замінники: сталі 40Х, 50, 50Г2.

Призначення: вали-шестерні, колінчаті і розподільні вали, шестерні, шпинделі, бандажі, циліндри, кулачки і інші нормалізовані, покращувані деталі і деталі, які піддаються поверхневій термообробці, від яких потрібна підвищена міцність.

Загальні відомості, хімічний склад, механічні, технологічні та фізичні властивості наведено в табл. 3.1 – 3.11 [8].

Таблиця 3.1

Хімічний склад сталі 45, мас. %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	As
0,42- 0,50	0,17- 0,37	0,50- 0,80	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,04	≤ 0,035	≤ 0,25	≤ 0,08

Таблиця 3.2

Механічні властивості сталі 45 при підвищених температурах

Температура випробувань, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
Нормалізація						
200	340	690	-	10	36	64
300	255	710	-	22	44	66

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
400	225	560	-	21	65	55
500	175	370	-	23	67	39
600	78	215	-	33	90	59
Зразок діаметром 6 мм і довжиною 30 мм, кований і нормалізований. Швидкість деформування 16 мм/хв. Швидкість деформації 0,009 1/с.						
700	140	170	43	-	96	-
800	64	110	58	-	98	-
900	54	76	62	-	100	-
1000	34	50	72	-	100	-
1100	22	34	81	-	100	-
1200	15	27	90	-	100	-

Таблиця 3.3

## Механічні властивості сталі 45 (прокату)

Термообробка, стан поставки	Переріз, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\delta_4$ , %	$\psi$ , %
1	2	3	4	5	6
Сталь гарячекатана, кована, калібрована та сріблянка 2-ї категорії після нормалізації	25	600	16	-	40
Сталь калібрована 5-ї категорії після гартування	25	640	6	-	30
Сталь калібрована і калібрований зі спеціальною обробкою після відпуску або відпалу	25	<590	-	-	40



Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6
Листи нормалізовані і гарячекатані	80	590	18	-	-
Смуги нормалізовані або гарячекатані	6-25	600	16	-	40
Лист гарячекатаний	<2	550-690	-	14	-
Лист гарячекатаний	2-3,9	550-690	-	15	-
Лист холоднокатаний	<2	550-690	-	15	-
Лист холоднокатаний	2-3,9	550-690	-	16	-

Таблиця 3.4

## Механічні властивості сталі 45 (поковок)

Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	НВ
Нормалізація					
100-300	245	470	19	42	143-179
300-500	245	470	17	35	143-179
500-800	245	470	15	30	143-179
<100	275	530	20	44	156-197
100-300	275	530	17	34	156-197
Гартування. Відпуск					
300-500	275	530	15	29	156-197
Нормалізація. Гартування. Відпуск					
<100	315	570	17	39	167-207
100-300	315	570	14	34	167-207
300-500	315	570	12	29	167-207
<100	345	590	18	59	174-217
100-300	345	590	17	54	174-217

Таблиця 3.5

Механічні властивості залежно від температури відпуску сталі 45

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ
Гартування 850 °С, вода. Зразки діаметром 15 мм						
450	830	980	10	40	59	
500	730	830	12	45	78	
550	640	780	16	50	98	
600	590	730	25	55	118	
Гартування 840 °С, вода. Діаметр заготовки 60 мм						
400	520-590	730-840	12-14	46-50	50-70	202-234
500	470-520	680-770	14-16	52-58	60-90	185-210
600	410-440	610-680	18-20	61-64	90-120	168-190

Таблиця 3.6

Механічні властивості залежно від перерізу сталі 45

Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>
Гартування 850 °С, відпуск 550 °С. Зразки вирізалися з центру заготовок.					
15	640	780	16	50	98
30	540	730	15	45	78
75	440	690	14	40	59
100	440	690	13	40	49

Таблиця 3.7

## Технологічні властивості

Температура кування	Початку 1250, кінця 700. Переріз до 400 мм охолоджуються на повітрі
Зварюваність	Важкозварювальна. Способи зварювання: РДС і КТС. Необхідний підігрів і подальша термообробка
Оброблюваність різанням	В гарячекатаному стані при НВ 170-179 и $s_B = 640$ МПа $K_{и\text{ тв.спл.}} = 1$ , $K_{и\text{ б.ст.}} = 1$
Схильність до відпускнуї крихкості	Не схильна
Флокеночутливість	Малочутлива

Таблиця 3.8

## Температура критичних точок

Критичні точки	$A_{c1}$	$A_{c3}$	$A_{r3}$	$A_{r1}$	Mn
Температура, °C	730	755	690	780	350

Таблиця 3.9

## Межа витривалості сталі 45

$\sigma_{-1}$ , МПа	$\tau_{-1}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
245	157	590	310
421	-	880	680
231	-	520	270
331	-	660	480

Таблиця 3.10

Ударна в'язкість сталі 45, КСУ, Дж/см<sup>2</sup>

Стан поставки, термообробка	+20	-20	-40	-60
Пруток діаметром 25 мм. Гарячекатаний стан	14-15	10-14	5-14	3-8
Пруток діаметром 25 мм. Відпал	42-47	27-34	27-31	13
Пруток діаметром 25 мм. Нормалізація	49-52	37-42	33-37	29
Пруток діаметром 25 мм. Гартування. Відпуск	110-123	72-88	36-95	31- 63
Пруток діаметром 120 мм. Гарячекатаний стан	42-47	24-26	15-33	12
Пруток діаметром 120 мм. Відпал	47-52	32	17-33	9
Пруток діаметром 120 мм. Нормалізація	76-80	45-55	49-56	47
Пруток діаметром 120 мм. Гартування. Відпуск	112-164	81	80	70

Таблиця 2.11

## Фізичні властивості сталі 45

Температура випробування, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль нормальної пружності, E, ГПа	200	201	193	190	172	-	-	-	-	-
Модуль пружності при зсуві крученням G, ГПа	78	-	-	69	-	59	-	-	-	-

Продовження табл. 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Щільність, $\rho$ , кг/см <sup>3</sup>	782 6	779 9	776 9	773 5	769 8	766 2	762 5	758 7	759 5	-
Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·°С)	-	48	47	44	41	39	36	31	27	26
Температура випробування, °С	20- 100	20- 200	20- 300	20- 400	20- 500	20- 600	20- 700	20- 800	20- 900	20- 100 0
Коефіцієнт лінійного розширення ( $\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> 1/°С)	11.9	12.7	13.4	14.1	14.6	14.9	15.2	-	-	-
Питома теплоємність ( $C$ = Дж/(кг °С))	473	498	515	536	583	578	611	720	708	-
Температура випробування, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900

### 3.2. Методика досліджень

Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі МІМ-7. Для вимірювання твердості застосовували твердоміри ТК-2 і ТШ-2.

## Висновок

Для виготовлення деталі «матриця прес-форми» обрали сталь 45.

Замінники: сталі 40Х, 50, 50Г2.

Призначення: вали-шестерні, колінчаті і розподільні вали, шестерні, шпинделі, бандажі, циліндри, кулачки і інші нормалізовані, покращувані деталі і деталі, які піддаються поверхневій термообробці, від яких потрібна підвищена міцність.

Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі МІМ-7.

Для вимірювання твердості застосовували твердоміри ТК-2 і ТШ-2.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Схема заводської маршрутної технології виготовлення деталі «матриця прес-форми» представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Маршрутна технологія виготовлення деталі

Технологічна операція	Призначення	Устаткування
1	2	3
Заготівельна	Відрізання заготовки з прокату	Механічна пила
Ковальська	Попереднє формоутворення деталі	Гідравлічний молот, універсальний підкладний інструмент
Нормалізація	Зменшення твердості та зняття залишкових напружень	Муфельна електрична піч
Токарна обробка деталі	Обробка внутрішніх і зовнішніх поверхонь	Токарно-вінторізний верстат, прохідні, підрізні, розточні різці, трьохкулачковий патрон
Свердлильна	Отримання отворів	Вертикально-свердлильний верстат, свердла
Борування	Отримання борованого шару	Муфельна електрична піч, контейнер для борування

Продовження табл. 4.1

1	2	3
Гартування	Надання міцності та твердості	Муфельна електрична піч, гартувальний бак
Відпуск	Зняття внутрішніх напружень	Муфельна відпускна електрична піч
Контроль якості термічної обробки	Контроль товщини борованого гару і твердості	Твердомір ТК-2, ТШ-2м
Полірування	Полірування внутрішніх і зовнішніх поверхонь	Універсальний пневмо інструмент
Відділ технічного контролю (ВТК) та клеймування	Контроль якості та клеймування деталі	Стіл ВТК

Загалом, технологічний процес виготовлення прес-форм є наступним [2, 3, 5]:

1. Отримання заготовок деталей прес-форми.
2. Попередня обробка заготовок на верстатах та методами слюсарної розмірної обробки.
3. Термічна обробка.
4. Чистова обробка заготовок деталей на металорізальних верстатах та методами слюсарної обробки.
5. Оздоблення найбільш відповідальних поверхонь заготовок деталей прес-форм на верстатах або методами слюсарної обробки.
6. Хіміко-термічна обробка поверхонь формоутворювальних деталей.
7. Термічна обробка.
8. Слюсарне складання та випробування прес-форми



## Висновок

В якості заготовки для деталей прес-форм найчастіше використовуються поковки, прокат і лиття.

Поковки отримують вільним куванням, рідким і точним об'ємним штампуванням. Виливки виготовляються методом лиття під тиском, лиття за моделями, що виплавляються, в оболонці, гіпсі, металі і піску. Заготовки штампів (матриць та пуансонів) також отримують шляхом гарячої екструзії, пресування різних порошків.

Для деталей, що працюють у найважчих умовах, як заготовки служать поковки, які забезпечують високу міцність. Оскільки в основному структурні деталі нормалізуються та стандартизуються, вони обробляються відповідно до стандартних технологічних процесів.

Деталі, що мають форму тіл, що обертаються (втулки, колони, хвостовики, ежектори, стрижні), попередньо обробляються на токарних верстатах. Остаточна обробка їх здійснюється на круглих та внутрішньошліфувальних верстатах.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1. Розробка методу термічної та хіміко-термічної обробки

У заводському варіанті деталь «матриця прес-форми» виготовлялася зі сталі 45 з наступною термообробкою: відпал, гартування і високий відпуск. Графік заводського режиму термообробки наведений на рис. 5.1.

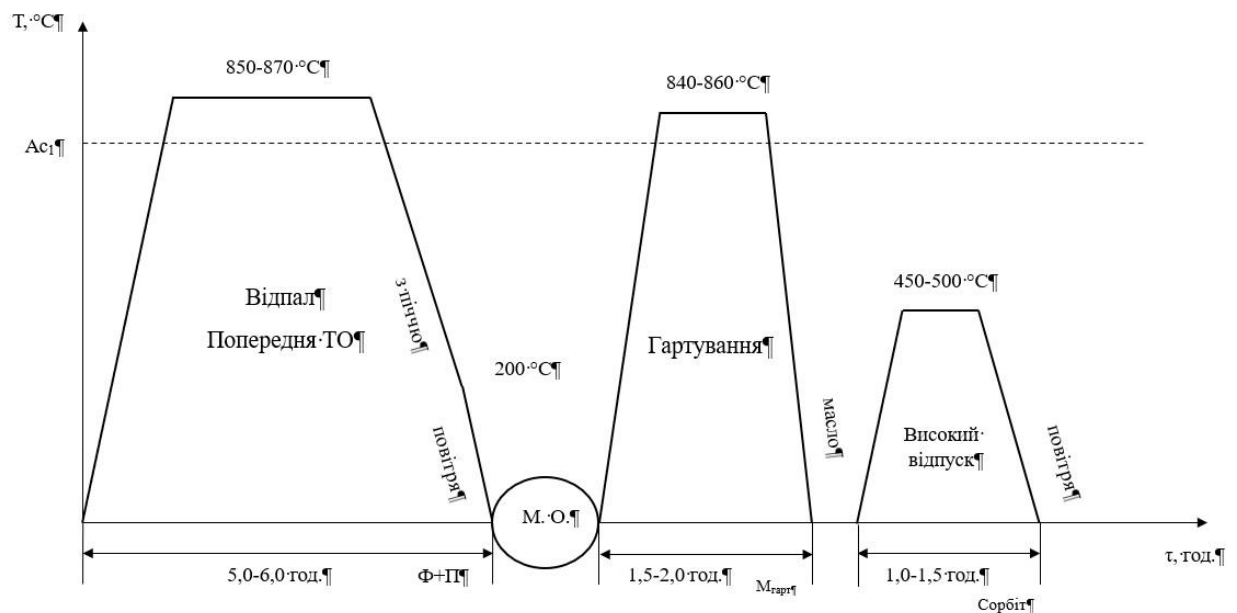


Рисунок 5.1 – Заводський варіант технологічного процесу термічної обробки сталі 45.

Як показало багаторічне використання даної деталі в умовах виробництва, заводський варіант зміцнення сталі не забезпечує необхідної зносостійкості і корозійної стійкості [10, 11].

Мікроструктура сталі після високого відпуску представлена на рис. 5.2.

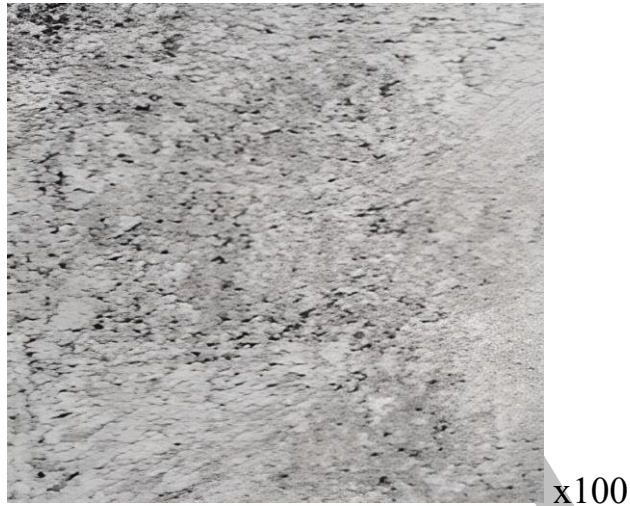


Рисунок 5.2 – Мікроструктура сталі 45 після гартування і високого відпуску (сорбіт відпуску).

З метою збільшення зносостійкості і корозійної стійкості сталі запропоновано хіміко-термічну обробку деталі методом борування. Використання даного методу збільшить собівартість виробу, але значно збільшить термін роботи деталі і всього механізму в цілому, що, безсумнівно, позначиться на економічному ефекті.

Борування – процес хіміко-термічної обробки, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі бором при високотемпературній витримці у відповідних насичуючих середовищах. Це один з найбільш ефективних і універсальних процесів хіміко-термічної обробки. Боруванню можуть піддаватися сталі перлітного, феритного і аустенітного класів [11, 12].

Насичення бором може здійснюватися у твердих, рідких (електролізне і безелектролізне борування) і газоподібних середовищах (табл. 5.1).

При боруванні у твердих середовищах оброблювані деталі поміщаються в герметично закриті контейнери, так звані боризаторами. Процес твердофазного борування або борування в порошкових середовищах, здійснюється у вакуумі або водневих середовищах [13-15].

Таблиця 5.1

## Склади середовищ та режими борування сталей

Склад насичуючого середовища	Режим борування		Глибина шару, мм
	Т, °С	τ, год.	
Борування в твердих середовищах			
$B_4C^* + 2-4\% NH_4Cl$	950–1050	3–6	0,15–0,30
80 % $B_4C + 16-18\% Al_2O_3 + 2-4\% NH_4Cl$			
79 % $B_4C + 16\% Na_2B_4O_7 + 5\% KBF_4$			
Борування в рідких середовищах			
Електролізне борування			
40 % розплавлена бура – $Na_2B_4O_7 + 50\% B_2O_3 + 10\% NaCl$	950	2–3	0,15–0,3
Розплавлена бура – $Na_2B_4O_7$	900–950	2–4	0,15–0,3
70 % $Na_2B_4O_7 + 30\% Na_2SO_4$	600	4–6	0,015–0,025
Безелектролізне борування			
60 % розплавлена бура – $Na_2B_4O_7 + 40\% B_4C$	100–1050	3–5	0,2–0,35
Близько 80 % $Na_2B_4O_7 + 15-17\% NaCl + 6-7\% \text{ порошку бора}$	850	2–3	0,04–0,05
	900–950	2–4	0,1–0,25
Борування в газоподібних середовищах			
$B_2H_2$ , розплавлений воднем в співвідношеннях від 1 : 25 до 1 : 150	800–850	2–4	0,1–0,2
$BCl_3 + H_2$ в співвідношенні 1:20	750–950	3–6	0,1–0,25

\*Карбід бору використовується в порошкоподібному вигляді.

Рідкофазне (безелектролізне) борування застосовують тільки у випадку обробки деталей складної конфігурації, а електролізне, як більш економічне, широко використовується для широкого спектру виробів простих форм

різного призначення. Як анод при електролізному боруванні застосовують графітові стрижні, напруга постійного струму в процесі борування коливається в межах 6-24 В. Найбільш низькотемпературним процесом борування є хіміко-термічна обробка деталей в газоподібних середовищах, проте вибухонебезпечність і токсичність застосовуваних середовищ обмежує можливість цього, безумовно прогресивного, способу хіміко-термічної обробки [16].

Борування застосовують для підвищення зносостійкості поверхневого шару сталевих виробів, зокрема, при підвищених температурах, підвищення його твердості і зносостійкості. Вироби, які зазнали насичення бором, мають підвищену до 800 °С окалиностійкість і теплостійкість до 900-950 °С. Твердість борованого шару в сталях перлітного класу становить 15 000-20 000 МПа [17].

Вуглець в процесі борування відтісняється від поверхні сталі і в насичуваній зоні утворюється зона суцільних боридів, хімічний склад, форма і структура яких безпосередньо залежить від хімічного складу сталі. Вуглець і легуючі елементи зменшують глибину насичуваного шару, чим вище їх зміст, тим менше глибина борування.

Вуглець, витіснений з поверхневого шару, утворює власну зону підвищеної концентрації, яка розташовується безпосередньо за шаром боридів. По ширині така зона виявляється значно ширше боридної і її розміри визначаються наявністю або відсутністю в сталі карбідоутворюючих елементів. Карбідоутворюючі елементи, різко знижуючи швидкість дифузії вуглецю, зменшують ширину шару з підвищеним вмістом вуглецю, некарбідоутворюючі практично не впливають на її розміри.

У ряді випадків виконується багатоконпонентне борування, коли спільно з насиченням бором додатково проводиться насичення поверхні деталі іншими елементами – хромом, алюмінієм, кремнієм і т. д. Таке насичення проводиться для підвищення корозійної стійкості та зносостійкості

поверхневого шару деталі, проте, отримані результати підвищення стійкості не так великі, щоб ці процеси знайшли широке поширення.

Пропонований режим термічної та хіміко-термічної обробки представлений на рис. 5.3 та в додатку Б.

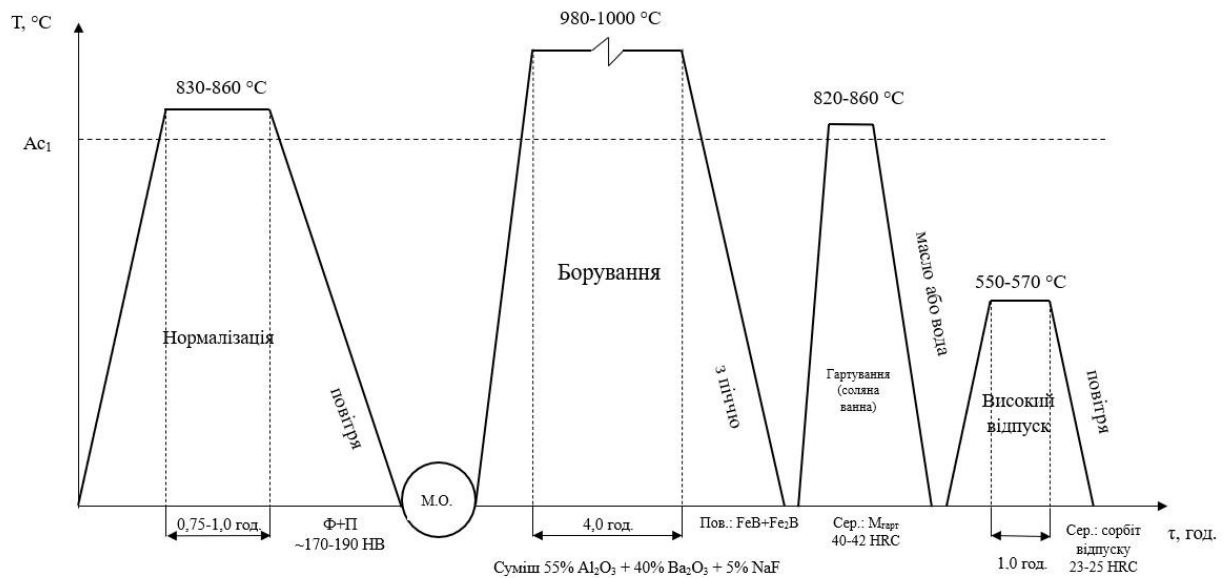


Рисунок 5.3 – Запропонований варіант технологічного процесу термічної і хіміко-термічної обробки деталі зі сталі 45.

Мікроструктура борованого шару сталі 45 після процесу борування представлена на рис. 5.4, після високого відпуску – на рис. 5.5.

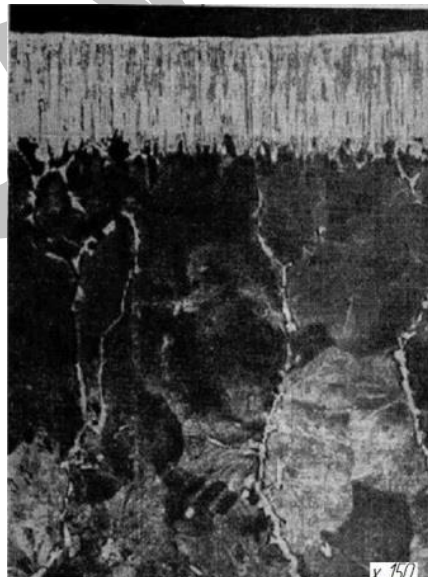


Рисунок 5.4 – Мікрофотографія структури сталі 45 після борування.

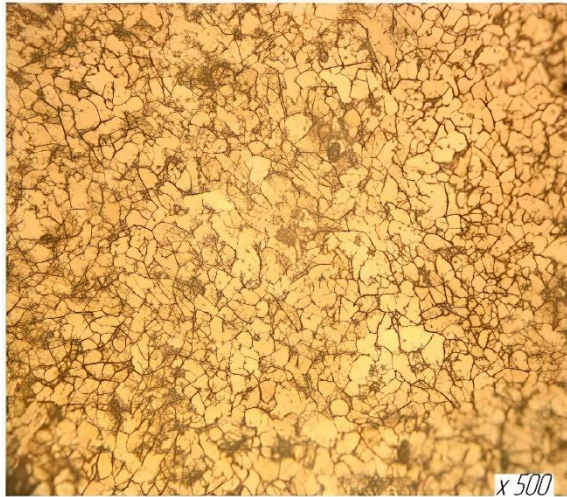


Рисунок 5.5 – Мікроструктура сталі 45 після високого відпуску – сорбіт відпуску.

## 5.2. Вибір і розрахунок кількості обладнання для термічної обробки

Застосування високопродуктивного та надійного в експлуатації обладнання дозволяє знизити в проєктованій термічній ділянці собівартість термічної і хіміко-термічної обробки, підвищити продуктивність і забезпечити високу якість продукції [18, 19].

Все обладнання можна розділити на три груп:

1. Основне обладнання, пов'язане з нагріванням і охолодженням виробів;
2. Додаткове обладнання для виконання додаткових операцій;
3. Допоміжне обладнання (установки для приготування контрольованих атмосфер і карбюризатора, теплоенергетичне обладнання).

Тип обладнання для проєктованого цеху вибирається на підставі розробленого технологічного процесу термічної обробки. Вибір обладнання залежить також від способу виконання операцій, який встановлюється залежно від наступних факторів:

1. Характер завантаження:
  - а) поштучний або партіями, садками – застосовується в цехах індивідуального і дрібносерійного виробництва, здійснюється на обладнанні

періодичної дії (камерні і шахтні печі), які здатні до швидкого переналагодження технологічного режиму;

б) безперервний – застосовується в цехах масового і великосерійного виробництва і здійснюється на потоковому обладнанні безперервної дії (агрегати, конвеєрні та толкательні печі).

2. Положення виробів у процесі обробки:

- а) стаціонарне;
- б) переміщення по повторюваній траєкторії;
- в) поступальне переміщення.

3. Поєднання операцій:

- а) послідовне;
- б) паралельне;
- в) паралельно-послідовне .

4. Режим роботи обладнання:

- а) періодичний;
- б) напівбезперервний;
- в) безперервний.

### **Основне обладнання**

Щоб спроектувати термічну ділянку обробки деталі «матриця прес-форми», вибираємо основне, допоміжне і додаткове обладнання для проведення термічної, хіміко-термічної обробки, контролю якості та транспортування деталей.

Вибір основного обладнання починається з аналізу існуючого на заводі обладнання, обговорення його переваг та недоліків. Також необхідно розглянути, які види основного обладнання мають більшу продуктивність, забезпечують кращу якість термообробки, краще механізовані й автоматизовані.

До основного обладнання належить обладнання, що застосовується для виконання технологічних операцій, пов'язаних з нагріванням і охолодженням деталей: печі, нагрівальні пристрої і установки, охолоджуючі пристрої.



Для проведення попередньої термічної обробки – нормалізації обираємо камерну електричну піч (рис. 5.5) типу СНО/СНЗ-6.12.4/10.

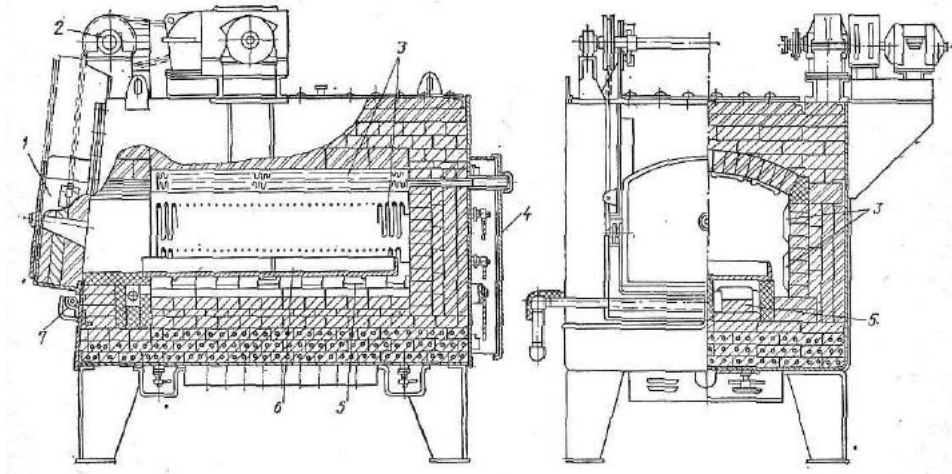


Рисунок 5.5 – Типова камерна електрична піч.

Печі цього типу мають стрічкові нагрівальні елементи 3, розташовані зигзагами в два ряди по бічних стінках, на поду і склепінні. Підповоді нагрівачів розміщені на спеціальних гребінках 5 і захищені масивною металевою плитою 6 з бічними ребрами. Кінці нагрівачів виведені на задню стінку і захищені кожухом 4. У заслінки 1 печі матися трубка 7 з отворами для подачі захисної атмосфери. Деталі завантажуються у піч на спеціальних піддонах з жаростійкої сталі. Укладання деталей на піддоні передбачає максимальне завантаження для підвищення ККД печі і скорочення питомих витрат електроенергії.

Технічні характеристики печі СНО/СНЗ-6.12.4/10 представлені в табл. 5.2.

Для проведення борування в твердому карбюризаторі вибираємо високотемпературну камерну піч СНЗ-6.12.4/12 з карборундовими неметалевими нагрівачами, що дають температуру до 1400 °С. Температура нижче 1300 °С (як у нашому випадку) може бути досягнута і з металевими нагрівачами зі сплаву Х27Ю5. Під печі являє собою жароміцну карборундову

плиту, на яку встановлюється ящик з матрицями, пересипаними карбюризатором. Ящик повинен бути герметично закупорений.

Технічні характеристики печі СНЗ-6.12.4/12 представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.2

Технічні характеристики печі СНО/СНЗ-6.12.4/10

Розмір робочого простору, м	0,6 × 1,2 × 0,4
Площа поду, м <sup>2</sup>	0,72
Температура нагріву (мах), Т °С	1000
Зовнішні габарити, м	2,0 × 2,8 × 2,5
Потужність, кВт	58
Продуктивність, кг/год.	100

Таблиця 5.3

Технічні характеристики печі СНЗ-6.12.4/12

Розмір робочого простору, м	0,6 x 1,2 x 0,4
Площа поду, м <sup>2</sup>	0,72
Температура нагріву (мах), Т °С	1200
Зовнішні габарити, м	2,0 x 2,8 x 2,5
Потужність, кВт	52
Продуктивність, кг/год.	110

Для гартування борованих деталей вибираємо електричну піч-ванну з зовнішнім обігрівом, так як боровані деталі не можна нагрівати в електричних камерних печах через погіршення якості борованого шару.

В якості нагрівального середовища вибираємо натрій-боро-силікатний розплав, що складається з 32-36 % SiO<sub>2</sub>, 28-32 % В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>, 20-24 % Na<sub>2</sub>О, 6-7% К<sub>2</sub>О і по 1 % Al<sub>2</sub>О<sub>3</sub>, СаО, MgO. Даний розплав може застосовуватися при температурах 850-1300 °С. Він має невелику в'язкість, оберігає сталь від

окислення і зневуглицювання, дає чисту поверхню, не порушує якість борованого шару.

В електричних ваннах з зовнішнім обігрівом обігрівачі розташовуються на внутрішній поверхні кладки в кілька рядів на висоті. Температура нагрівачів зазвичай 100-150 °С вище робочої температури ванни. Тигель ванни має кошик, в який поміщають деталі.

Технічні характеристики печі-ванни представлені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

## Технічні характеристики печі-ванни із зовнішнім обігрівом

Розмір робочого простору, м	0,4 x 1,2
Зовнішні габарити, м	1,5 x 2,9 x 2,6
Потужність, кВт	150
Продуктивність, кг/год.	160-250

Для проведення високотемпературного відпуску вибираємо відпускну піч СШО-6.12/7. Після гартування в пристосуванні «кошик» деталі переносимо у відпускну піч у тому ж пристосуванні.

Технічні характеристики печі СШО-6.12/7 представлені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

## Технічні характеристики печі СШО-6.12/7

Розмір робочого простору, м	0,6 x 1,2
Площа поду, м <sup>2</sup>	0,34
Температура нагріву (мах), Т °С	700
Зовнішні габарити, м	2,8 x 2,7 x 4,0
Садка, т	1,0
Потужність, кВт	50
Продуктивність, кг/год.	100

Для охолодження матриць після гартування вибираємо бак періодичної дії, немеханізований з примусовою циркуляцією води. Завантаження та розвантаження деталей проводиться за допомогою кран-балки безпосередньо в пристосуванні «кошик». Розмір бака залежить від величини садки деталей з розрахунку  $\sim 20$  л води на 1 кг. гарячих деталей. В нашому випадку розміри бака 1.0x1.5x1.5 м. Для зручності обслуговування бак занурений на 0.5 м. в підлогу термічного відділення.

### **Допоміжне і додаткове обладнання**

Для відрубки зразків і зачистки місць контролю твердості на деталях у термічному відділенні передбачаються механічні дискові або стрічкові пили, а також заточувальні верстати (кожного з них по одній одиниці).

### **Прилади контролю якості термічної обробки**

Контроль твердості проводиться після всіх операцій термічної обробки на приладі ТК (по Роквеллу).

Якість, мікроструктуру і твердість борованого шару визначається на зразках-свідках в заводській металографічній лабораторії.

### **Транспортні засоби**

Для транспортування деталей використовуємо самохідні візки з підцепною платформою (електронавантажувач) з вантажопідйомністю до 1 т. Для завантаження деталей у печі застосовується кран-балка вантажопідйомністю до 3 т.

## **5.3 Розрахунок обладнання термічної ділянки**

Для розрахунку необхідної кількості обладнання вибираємо спосіб за укрупненими показниками, який призначений для проектних завдань [18]. Розрахунок полягає в тому, що кількість потрібного обладнання визначається, виходячи з продуктивності вибраного обладнання – часової і питомої, так як продуктивність печей залежить від тієї операції, яка на ній виконується. Для цього в проектних завданнях спочатку складаємо відомість розподілу деталей

програми за операціями. Потім проводимо визначення завантаженості печі, тобто кількість годин роботи печі, які потрібні для обробки однієї садки деталей по програмі (табл. 5.6) [19].

Таблиця 5.6

Середня продуктивність печей на окремих операціях в кг/год.

Тип печі	Операція термічної обробки	Середня продуктивність, кг/год.
СНО – 6.12.4/10	Нормалізація	100
СНЗ – 6.12.4/12	Борування	25
Піч-ванна з зовнішнім обігрівом	Гартування після металізації	250
СШО – 6.12/7	Відпуск високотемпературний	50

Приймаємо програму термообробки деталей рівну 250000 кг/р, при нормалізації в обраній печі СНО-6.12.4/10 з продуктивністю 100 кг/год. і програмі 25000 кг/р, завантаженість становить:

$$\frac{250000}{100} = 2500 \text{ год.}$$

Визначаємо кількість печей, приймаючи фонд часу роботи обладнання, при двозмінній роботі ~ 3800 годин.

$$\frac{2500}{3800} = 0.67 \text{ печі}$$

Приймаємо кількість печей на цій операції, що дорівнює одній, ККД при цьому дорівнює:

$$\frac{0.67 * 100}{1} = 67\%$$

При боруванні в обраній печі СНЗ-6.12.4/12 з продуктивністю 25 кг/год. і програмі 250000 кг на рік, завантаженість становитиме:

$$\frac{250000}{25} = 10000 \text{ год.}$$

Визначаємо кількість печей, приймаючи фонд часу роботи обладнання, при двозмінній роботі ~ 3800 годин.

$$\frac{10000}{3800} = 2.63 \text{ печі}$$

Приймаємо три печі для металізації (боруванні), при цьому ККД дорівнює:

$$\frac{2,63 * 100}{3} = 87,7\%$$

При гартуванні в печі-ванні з зовнішнім обігрівом з продуктивністю 250 кг/год. при програмі 250000 кг/р., завантаженість становитиме:

$$\frac{250000}{250} = 1000 \text{ год.}$$

Визначаємо кількість печей-ванн, приймаючи фонд часу роботи даного виду обладнання при роботі в одну зміну ~ 1500 годин.

$$\frac{1000}{1500} = 0.67 \text{ печі}$$

Приймаємо кількість печей-ванн рівною одній, при цьому ККД дорівнює:

$$\frac{0,67 * 100}{1} = 67\%$$

Відпуск високотемпературний обраної печі СШО-6.12/7 з продуктивність 50 кг/год. і програмі 250000 кг/р., завантаженість становитиме:

$$\frac{250000}{50} = 5000 \text{ год.}$$

Визначаємо кількість печей, приймаючи фонд часу роботи обладнання, при двозмінній роботі ~ 3800 годин.

$$\frac{5000}{3800} = 1,32 \text{ печі}$$

Приймаємо кількість печей на цій операції, що дорівнює двом, ККД при цьому дорівнює:

$$\frac{1.32 * 100}{2} = 66\%$$

Отже, для проектування термічної ділянки приймаємо:

- для нормалізації – піч СНО-6.12.4/10 – 1 шт.
- для борування в твердому середовищі – піч СНЗ-6.12.4/12 – 3 шт.
- піч-ванна з зовнішнім обігрівом для гартування – 1 шт.
- для відпуску високого – піч СШО-6.12 / 7 – 2 шт.

#### **5.4. Проектування плану ділянки (відділення, цеху) та вантажопотоків**

Зовнішні стіни будівлі виготовлені з утеплених залізобетонних панелей товщиною 300 мм. Ширина прольоту становить 18 м, а крок колон 6 м. Висота до мостового крана становить 8 м. Транспортний проїзд становить 3 м.

Розташування обладнання на плані ділянки проводиться по технологічному процесу з урахуванням забезпечення поточності виробництва і безперервності роботи на ділянці. Тому на початку цеху розташовується склад сировини та прес-форм, потім розташовується силове обладнання, на якому виготовляють вироби [18, 19].

При подальшому просуванні розташовується ділянка ВТК, де перевіряють 10 % продукції, і потім всю виготовлену продукцію відправляють на ділянку комплектування, де після упаковки вироби потрапляють на склад готової продукції. Розмір цехових воріт – 4 x 4. Підлоги виконані з цементу. Вони повинні мати особливо тверде і міцне покриття на проїжджій частині та на ділянках складування, не ковзати і добре очищатися від бруду. Вікна шириною 2,5 м з одинарним склінням. Для поліпшення освітленості будівлі забезпечені ліхтарями. Ліхтарі забезпечують більш рівномірне освітлення будівлі. Будівля термічного цеху виготовляється з вогнетривких матеріалів, відповідних I-II ступеню вогнестійкості.

Дах ділянки виконаний із жаростійких і теплоізолюючих матеріалів з ліхтарем, що призначаються для додаткового освітлення ділянки і

провітрюють його в теплу пору року. Ділянка для термічної і хіміко-термічної обробки розроблена згідно нормативів, прийнятих при проектуванні термічних цехів і дільниць. При проектуванні були враховані всі розрахункові дані щодо кількості основного та допоміжного обладнання, прийняті до уваги вантажопотоки деталей при виготовленні (механічній обробці), термічній і хіміко-термічній обробці. У плануванні ділянки передбачені місця для складування заготовок і готової продукції, а також виділені приміщення (побутові) для відпочинку робітників і розташування ІТП, обслуговуючих спроектовану ділянку.

Схема ділянки представлена на рис. 5.6 і у додатку В.

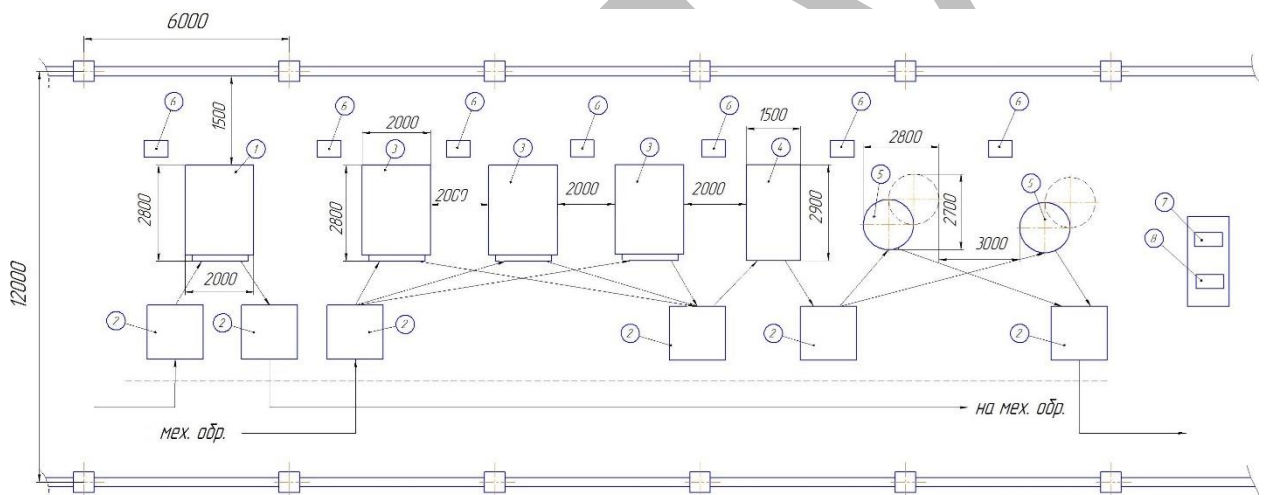


Рисунок 5.6 – Планування ділянки ТО і ХТО деталі матриця прес-форми.

#### Специфікація обладнання ділянки

##### Обладнання основне

1. Піч СНО-6.12.4/10 – 1 шт.
2. Місце для складування – 6 шт.
3. Піч СНЗ-6.12.4/12 – 3 шт.
4. Піч-ванна з зовнішнім обігрівом для гартування – 1 шт.
5. Піч СШО-6.12 / 7 – 2 шт.
6. Шафа керування – 7 шт.

##### Обладнання контролю

7. Твердомір ТШ-2 – 1 шт.
8. Твердомір ТК-2 – 1 шт.



## Висновок

У заводському варіанті деталь «матриця прес-форми» виготовлялася зі сталі 45 з наступною термообробкою: гартування і високий відпуск.

Як показало багаторічне використання даної деталі в умовах виробництва, заводський варіант зміцнення сталі не забезпечує необхідної зносостійкості і корозійної стійкості.

З метою збільшення зносостійкості і корозійної стійкості сталі запропоновано хіміко-термічну обробку деталі методом борування. Використання даного методу збільшить собівартість виробу, але значно збільшить термін роботи деталі і всього механізму в цілому, що, безсумнівно, позначиться на економічному ефекті.

Щоб спроектувати термічну ділянку обробки деталі «матриця прес-форми», вибираємо основне, допоміжне і додаткове обладнання для проведення термічної, хіміко-термічної обробки, контролю якості та транспортування деталей.

Для проектування термічної ділянки приймаємо:

- для нормалізації – піч СНО-6.12.4/10 – 1 шт.
- для борування в твердому середовищі – піч СНЗ-6.12.4/12 – 3 шт.
- піч-ванна з зовнішнім обігрівом для гартування – 1 шт.
- для відпуску високого – піч СШО-6.12 / 7 – 2 шт.

## ВИСНОВКИ

В процесі роботи над випускною кваліфікаційною роботою отримані наступні результати:

1) Проведено аналіз умови роботи деталі «матриця прес-форми» для пресування композиційних матеріалів. У процесі роботи всі деталі прес-форми відчують статичне навантаження. Найбільш ймовірні причини виходу з ладу прес-форми наступні: перевищення розрахункового тиску пресування; заклинювання і поломка рухомих частин, в слідстві перекосу; знос поверхонь прес-форми частинками пресованого матеріалу; корозійне руйнування поверхонь, в слідстві впливу різних наповнювачів пресованої суміші і вологи.

2) Зроблено огляд літератури. Формотворні деталі прес-форм працюють в умовах високих навантажень, відчуючи великі зусилля на розтягнення і стиск в результаті впливу прес-матеріалу, стиснутого в формуючій порожнині. Все це обумовлює високі вимоги до матеріалів, використовуваних для виготовлення деталей прес-форм.

3) Для виготовлення деталі «матриця прес-форми» обрали сталь 45. Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі МІМ-7. Для вимірювання твердості застосовували твердоміри ТК-2 і ТШ-2.

4) Розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі.

5) З метою збільшення зносостійкості і корозійної стійкості сталі запропоновано хіміко-термічну обробку деталі методом борування. Використання даного методу збільшить собівартість виробу, але значно збільшить термін роботи деталі і всього механізму в цілому, що, безсумнівно, позначиться на економічному ефекті.

6) Обрано основне, допоміжне і додаткове обладнання для проведення термічної, хіміко-термічної обробки, контролю якості та транспортування деталей для проектування термічної ділянки обробки деталі «матриця прес-форми».

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

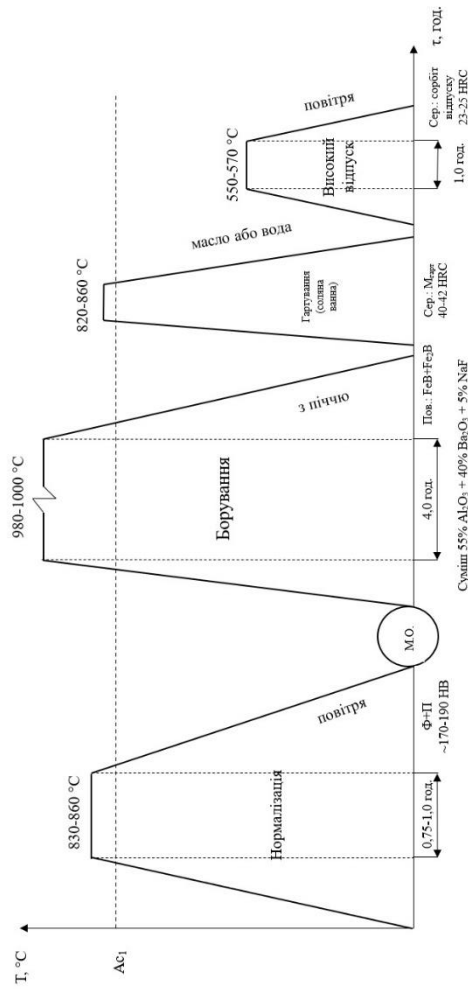
1. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / С.В. Марченко, О.П. Гапонова, Т.П. Говорун, Н.А. Харченко. – Суми: СумДУ, 2016. – 146 с.
2. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас : навч. посіб. / О.Л. Сокольський, В.І. Сівецький, І.О. Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 130 с.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 1) для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форм навчання / Укл.: В.М. Плєскач – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка, 2023. – 92 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / П.І. Літовченко, Л.П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с.
5. Основи виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій : навч. посіб. / С.В. Марченко, А.Ф. Будник, В.Б. Юскаєв. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 232 с.
6. Переработка фторопластов в изделия / А.К. Пугачев, О.А. Росляков. – Ленинград : Химия, 1987. – 168 с.
7. Berladir, K., Zhyhylii, D., Brejcha, J., Pozovnyi, O., Krmela, J., Krmelová, V., Artyukhov, A. Computer Simulation of Composite Materials Behavior under Pressing. *Polymers* 2022, 14, 5288. DOI: 10.3390/polym14235288
8. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
9. Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта, 2012.- с 548
10. Борисенко Г. В., Васильев Л. а., Ворошнин Л. Г. Химикотермическая обработка металлов и сплавов. Справочник. — М.: Металлургия, 1981. — 255 с.

- 11.Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1984. – 360 с.
- 12.Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали / Ю.А. Башнин. – М. : Металлургия, 1986. - 424 с.
- 13.Дальский А.М. Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский – М. : Машиностроение, 1977. - 664 с.
- 14.Иванов М.Н. Детали машин : учебник для вузов / М.Н. Иванов. - М., «Высш. школа», 1991. – 330 с.
- 15.Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1976. – 647 с.
- 16.Новиков И.И. Теория термической обработки металлов : учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. - Металлургия, 1986. - 480 с.
- 17.Ляхович Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Л.С. Ляхович. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.
- 18.Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць : навч. посіб. / А.Ф. Будник. — Суми : СумДУ, 2008. — 212 с.
- 19.Будник А.Ф. Обладнання термічних цехів та дільниць. Атлас конструкцій : навчальний посібник / А. Ф. Будник, А. О. Томас. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 112 с.

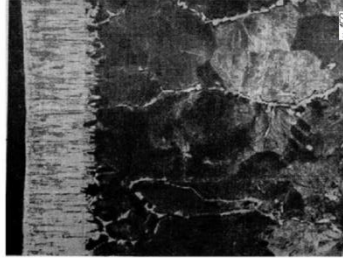


# ДОДАТОК Б

## Режим ТО і ХТО деталі "матриця прес-форми" зі сталі 45



Структура сталі 45 (сорбіт) x 500



Мікроструктура борованого шару x 500

№	Дат.	Лист	Матриця
1	10.01.2023	1	1
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Кресло: \_\_\_\_\_ Формат: А1

Лист №	1/1
Листів у збірці	1
Збірочний №	
Листів у збірці	
Лист №	
Листів у збірці	



## ABSTRACT

The bachelor's thesis contains 56 pages, in particular 11 figures, 19 tables, and a list of 19 literary sources on two pages.

The purpose of the work is to select a steel brand, develop a routing technology for the production of the «matrix of the press-form» part, and assign thermal and chemical-thermal treatment modes for the selected steel brand.

To achieve the set goal, the following tasks were solved in the work:

1. To conduct an analysis of the working conditions of the part «matrix of the press-form» for pressing composite materials.
2. To carry out a literature review.
3. To choose the material for the manufacture of the part.
4. To develop a routing technology for the production of the «matrix of the press-form» part for pressing composite materials.
5. To propose modes of thermal and chemical-thermal processing of the «matrix of the press-form» part.
6. To choose the main, auxiliary, and additional equipment for carrying out thermal, chemical, and thermal processing, quality control and transportation of parts for designing the thermal processing section of the «matrix of the press-form» part.

The work proposes chemical and thermal treatment of the part by the boron method to increase the wear resistance and corrosion resistance of steel 45.

PRESS FORM, MATRIX, BORIDING, POWDER MIXTURE, STEEL 45, PROPERTIES, HARDNESS, STRUCTURE.