

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни «Обладнання та оснастка
виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 2) для
студентів спеціальності

6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття
денної форми навчання

бібл. № 6520е

2017

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 2) для студентів спеціальності 6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття денної форми навчання/ Укл. В.М. Плескач, Н.В.Широкобокова – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 50 с.

Укладач:	В.М. Плескач, доц., к.т.н. Н.В. Широкобокова, к.т.н.
Рецензент:	О.А. Мітяєв, проф., д.т.н.
Експерт:	В.О. Савченко, к.т.н., доц.
Відповідальний за випуск:	І.П. Волчок, проф., д.т.н.

Затверджено на засіданні
НМК ІФФ протокол № 7
від 14.03.17 р.

Затверджено на засіданні
кафедри композиційних та
порошкових матеріалів і
технологій, протокол № 5
від 07.02.17 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	46
Лабораторна робота № 7. Вивчення конструкції і роботи сепараторів металевих порошків.....	47
Лабораторна робота № 8. Вивчення конструкції і роботи гідравлічних пресів.....	54
Лабораторна робота № 9. Проектування і розрахунок елементів прес-форми для виготовлення порошкових виробів.....	61
Лабораторна робота № 10. Прес-форми з виштовхувачами...	70
Лабораторна робота № 11. Аналіз технологічних параметрів прокатування металевих порошків.....	75
Лабораторна робота № 12. Аналіз технологічних параметрів мундштучного формування металевих порошків.....	82
Література.....	90
Додаток А. Залежність відносної щільності порошків від тиску пресування.....	91
Додаток Б. Насипна густина залізних порошків.....	91
Додаток В. Залежність густини пресовки від тиску пресування.....	91
Додаток Г. Коефіцієнти Пуассона та тертя.....	92
Додаток Д. Зведений кут захоплення.....	92

ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових та композиційних матеріалів» (частина 2) для студентів спеціальності 6.05040303 «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях з виробництва порошкових матеріалів. Вони сприяють їх засвоєнню та набуттю практичних навичок для проектування окремих вузлів відповідного виробничого обладнання або його підбирання з метою організації виробництва необхідної продукції. Виконуючи лабораторні роботи, студенти навчаються приймати оптимальні рішення на підставі теоретичних міркувань, аналізу технологічних залежностей та розрахунків.

При виконанні лабораторних робіт студенти знайомляться з будовою, принципами дії і правильним використанням обладнання для виробництва порошкових матеріалів; на основі заданих вихідних параметрів виконують необхідні розрахунки, реєструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

Лабораторні роботи розраховані на двогодинне заняття. Перед початком кожної лабораторної роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки. Контроль знань рекомендується проводити шляхом тестування або співбесіди.

Лабораторна робота № 7

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І РОБОТИ СЕПАРАТОРІВ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

7.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами, конструкцією і принципом дії різних сепараторів металевих порошків; оцінити їхні технічні характеристики і можливості, на підставі яких можна зробити висновок про область використання певного сепаратора.

7.2 Загальні відомості

Сепарувальне обладнання (сепаратори) призначено для розділення (сепарування) порошків на фракції, які використовуються безпосередньо для формування або для створення необхідної суміші, а також для очищення порошків від шкідливих домішок. Ознаками, за якими розділяють порошки, можуть бути розмір часток, їх форма, густина матеріалу, пружні, магнітні та інші його властивості.

Основними технологічними характеристиками сепараторів є: продуктивність, кількість фракцій на виході з апарату; кількісні показники, які характеризують частку певної фракції у всій вихідній суміші (коефіцієнт добування), чистоту фракції від домішок (коефіцієнт чистоти за даною фракцією).

Основними видами сепараторів у порошковій металургії є вібросепаратори, пневмосепаратори і магнітні сепаратори.

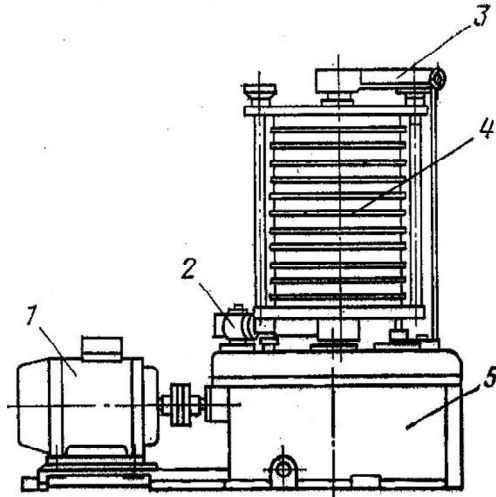
Основою для **вібросепараторів** є механічні сита, або деки. Дека становить раму, на якій закріплена сітка з необхідним розміром отворів. Сітки мають відповідати ГОСТ 6613-86 [8]. Сітчаста дека отримує зворотно-поступальний рух з певною частотою, і менші частки просипаються вниз, а необхідна фракція залишається на сітці.

Як правило, дека закріплюється (або підвішується) на металевій рамі через гумові амортизатори або пружини. Вібрація може задаватися обертанням ексцентрикового вала, ударами, гойданням або спеціальними вібраторами.

У найпростіших *однодечних сепараторах* рама сита підвішена на пружинах і рухається по замкненій еліптичній траєкторії завдяки обертанню неурівноваженого ексцентрикового вала. Частота обертання може бути до 1500 об/хв. Сітка встановлюється з певним

нахилом. Порошок, який пройшов через сітку, збирається у бункері, а решта скочується по сітці і збирається у спеціальній ємності. Оптимальної ефективності вібросита досягають підбором нахилу сита і дозуванням живлення сепаратора вихідним матеріалом.

Для розсіювання металевих порошків за розмірами на декілька фракцій застосовують *багатодечні сепаратори*. Сепаратор цього типу, показаний на рис. 7.1, складається з декількох сит.



1 – електродвигун; 2 – куліса; 3 – калатало; 4 – вертикальна вісь набору сит; 5 – корпус

Рисунок 7.1 – Ситовий вібросепаратор

Кут нахилу сит може змінюватися від 0 до 30° . Порошок, призначений для розсіювання, завантажується через бункер на верхнє сито. Щоб сита під час коливань не оберталися навколо власної осі, на корпусі сепаратора передбачена куліса. Калатало через гумову прокладку постукує по набору сит і тим сприяє просіюванню порошку.

Кожна фракція просіяного порошку поступає в окремі бачки через гумові рукави або залишається на ситах до закінчення розсіювання.

Вібросепаратори використовуються у порошковій металургії найчастіше. Їх продуктивність досить висока (до декількох сотень

кілограмів за годину) і залежить від діаметра сита і властивостей порошку. Збільшення товщини шару порошку до певного оптимального значення збільшує ймовірність просіювання.

Недоліком просіювання на віброситах є виділення великої кількості пилу, що вимагає вживання заходів із захисту атмосфери робочого місця, наприклад, максимальної герметизації робочого простору сита.

Порошки, змішані з пластифікатором, просіюються на однодечних сепараторах. Суміш *протирається* через сито за допомогою спеціального протирального пристрою (лопатки), який з невеликим зусиллям тисне на порошок і сприяє проходженню його через сітку. Продуктивність таких протирувальних сит значно менше, ніж звичайних сепараторів.

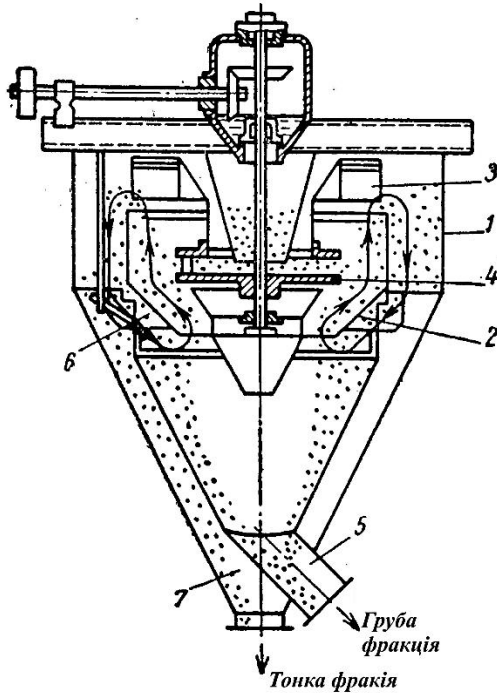
Мінімальний розмір часток, які можна відсіяти за допомогою сит – 40...50 мкм.

Класифікація порошоків за фракціями часток з розмірами менше 40...50 мкм здійснюється за допомогою повітряних, або **пневмосепараторів**. Їх принцип роботи ґрунтується на тому, що у повітряному потоці крупні частки під дією сили тяжіння випадають вниз, а дрібні виносяться з апарата повітрям.

Пневмосепаратори поділяються на сепаратори із замкненим потоком повітря і на повітряно-прохідні.

Повітряний сепаратор із *замкненим потоком повітря* (рис. 7.2) складається з корпусу і внутрішнього конуса. Над внутрішнім конусом установлений вентилятор із зовнішнім приводом, який створює циркуляцію повітря. Порошок поступає на розподільний диск і відкидається відцентровою силою до стінок конусу. Крупні частки падають вниз і вивантажуються через патрубок. Дрібні частки виносяться повітряним потоком і по зовнішньому корпусу падають вниз.

Повітряно-прохідний відцентровий сепаратор (рис. 7.3) не має свого приводу. Матеріал, що підлягає сепарації, поступає в сепаратор знизу у кільцевий простір між зовнішнім і внутрішнім конусами. Внаслідок різкого збільшення поперечного перерізу, по якому проходить потік повітря з порошковим матеріалом, значно



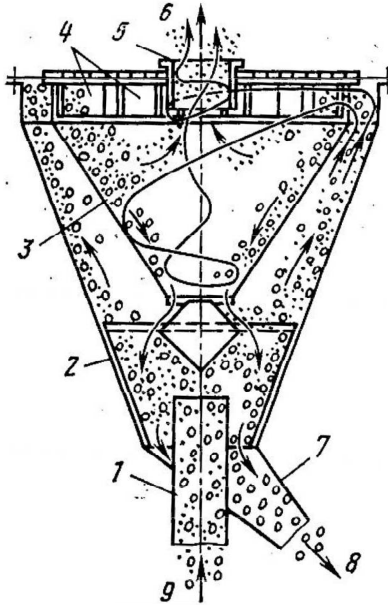
1 – корпус; 2 – внутрішній конус; 3 – вентилятор; 4 – розподільний диск; 5 – труба; 6 – відцентрове лопаткове колесо; 7 – розвантажувальний патрубок

Рисунок 7.2 – Пневмосепаратор із замкненим потоком повітря

зменшується його швидкість, з потоку випадають найбільші й найважчі частки і видаляються через патрубок.

Повітря з дрібними частками підіймається вище, проходить через тангенціально встановлені лопатки, набуває обертальний рух і по дотичній заходить у внутрішній конус. Рухаючись по поверхні внутрішнього конуса, повітряний потік завихрюється, важчі з дрібних часток скочуються вниз і видаляються через бічний патрубок.

Повітря з тоншими фракціями відсмоктується через верхній патрубок. Далі повітря попадає в спеціальний пристрій системи пилоочищення – *циклон*, де порошок уловлюється, а очищене повітря повертається у сепаратор.



1 – патрубок; 2 – зовнішній конус; 3 – внутрішній конус;
 4 – лопатки; 5 – верхній патрубок; 6 – повітря з тонкими фракціями;
 7 – бічний патрубок; 8 – потік важких часток; 9 – потік вихідного матеріалу

Рисунок 7.3 – Повітряно-прохідний відцентровий сепаратор

Основною технологічною характеристикою превмосепаратора є напруженість його об'єму по газу-носію:

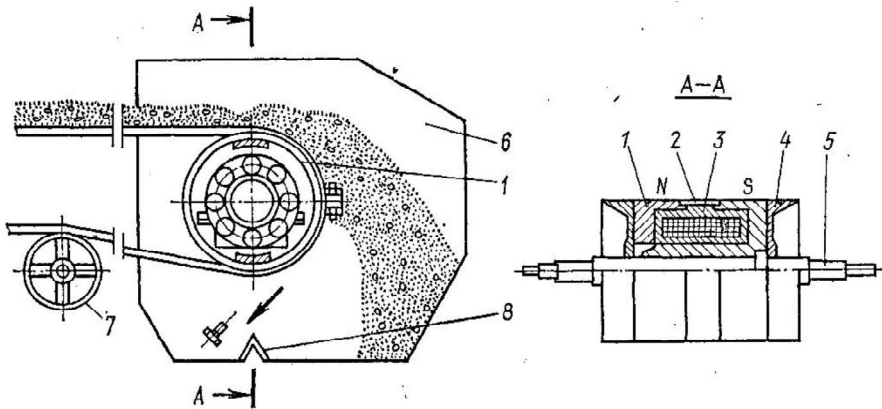
$$K_o = V/V_c, \quad (7.1)$$

де V - об'єм газу, який проходить через сепаратор; V_c - об'єм сепаратора.

Об'єм газу визначається необхідною продуктивністю сепаратора при концентрації порошку в потоці не більше 10 % (об'ємн.). Коефіцієнт K_o вибирається як функція дисперсності фракцій, що сепаруються [2].

Магнітні сепаратори використовуються для отримання порошоків у технологічних схемах, які передбачають використання як

вихідної сировини вторинних матеріалів з немагнітними домішками у вигляді окалини, стружки, шліфувальних та електролізних шлаків. Вихідна сировина транспортером рухається у бік барабана з магнітами (рис. 7.4). Магніти розташовані таким чином, що немагнітна маса зсипається безпосередньо зразу за барабаном, а магнітні матеріали утримуються на транспортерній стрічці доти, доки вона не відірветься від магнітів. Розділені матеріали збираються по різні боки ділильної перегородки.



- 1 - барабан з магнітами; 2 - обкладка; 3 - немагнітна обичайка;
4 - бічні стінки; 5 - вісь барабана; 6 - кожух; 7 - опорний валок;
8 - ділильна перегородка

Рисунок 7.4 – Магнітний сепаратор

Виділення матеріалу певної фракції залежить від розташування магнітів у барабані, використання протитечіного руху або багаторазової циркуляції магнітної фракції. Порошки, отримані на магнітних сепараторах, проходять розмагнічування у спеціальних апаратах.

7.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується видів сепараторів, їх конструкції та способів використання.

[2] с. 105-133; [4] с. 87-97; [5] с.123-128.

7.4 Контрольні запитання

1. Яка мета сепарування (класифікації) металевих порошків?
2. Назвіть основні види сепараторів у порошковій металургії.
3. Який вид сепараторів використовується найчастіше?
4. Назвіть основний елемент вібросепараторів, необхідний для просіювання порошків.
5. Якими сепараторами можна виділяти фракції з розмірами часток менше 40...50 мкм?

7.5 Обладнання, інструменти

1. Ситовий вібросепаратор
2. Ваги лабораторні
3. Калькулятор
4. Суміш металевих порошків

7.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання наявних сепараторів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

7.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією, роботою і призначенням різних видів сепараторів.
2. Вивчити конструкцію і ознайомитися з порядком використання ситового сепаратора.
3. Підготувати ситовий сепаратор до роботи.
4. Визначити масу підготовленої до сепарації суміші металевих порошків m .
5. Провести сепарування суміші по фракціях. Визначити тривалість сепарування t .
6. Після розсіювання кожену фракцію порошку, яка знаходиться на сітці з чарункою певного розміру, висипати з сита в окремі ємності, починаючи з сита з найбільшими чарунками. Частки, що пристали до сітки та рами, обережно струсити на наступне сито з меншими чарунками.
7. Таку операцію повторити для всіх сит і піддона.
8. Визначити кількість фракцій і масу кожної фракції m_i .

9. Визначити відносний вміст кожної фракції (коефіцієнт добування):

$$\delta_i = (m_i/m) \cdot 100\% . \quad (7.2)$$

10. Визначити продуктивність процесу сепарування:

$$\Pi = m/t \text{ (кг/хв.)}. \quad (7.3)$$

7.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику видів сепараторів, їх областей застосування.

2. Навести схему ситового сепаратора і короткий опис його конструкції.

3. Записати результати вимірювань і необхідні розрахунки.

4. За результатами експерименту зробити висновок про можливості використання та продуктивність ситового сепаратора.

Лабораторна робота № 8

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ І РОБОТИ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРЕСІВ

8.1 Мета роботи

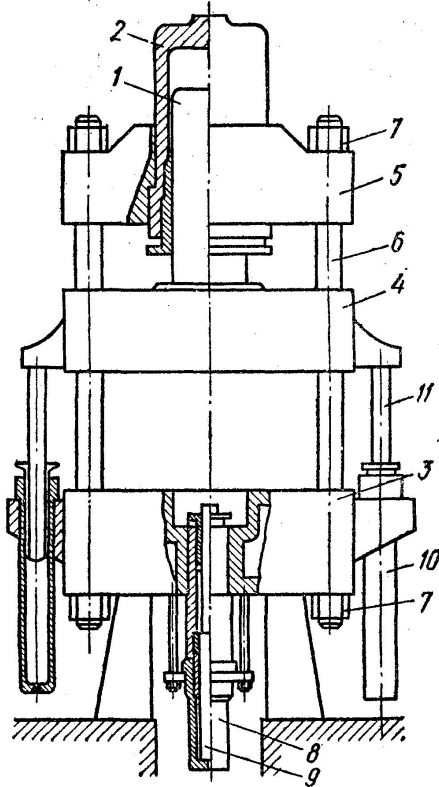
Ознайомитися з видами, конструкцією і принципом дії гідравлічних пресів, які використовуються у порошковій металургії; оцінити їхні технічні характеристики і можливості; навчитися на їх підставі підбирати прес для виготовлення певного порошкового виробу.

8.2 Загальні відомості

Для виготовлення порошкових виробів у прес-формах найчастіше використовуються гідравлічні преси потужністю (зусиллям) від 40...100 кН до 100 МН.

Розрізняють преси верхнього і нижнього тиску. У пресах верхнього тиску робочий циліндр розташований зверху, і рухома плита, здійснюючи пресування, рухається вниз, а у пресів нижнього тиску верхня плита нерухома, а знизу вверх рухається стіл з матрицею прес-форми.

Найчастіше використовуються вертикальні преси верхнього тиску (рис. 8.1), робочий цикл яких складається із зворотного ходу (підняття), утримання системи рухомих частин пресу у необхідному положенні (зупинка), холостого ходу і власне пресування (робочий хід).



- 1 – робочий плунжер; 2 – робочий циліндр; 3 – стіл;
 4 – робоча рухома плита; 5 – нерухома поперечина;
 6 – колони; 7 – гайки; 8 – циліндр виштовхування;
 9 – виштовхувальний плунжер; 10 – циліндр зворотної дії;
 11 – плунжер циліндра зворотної дії

Рисунок 8.1 – Схема гідравлічного преса верхнього тиску

Основою гідравлічного преса є фундаментні стійки, на яких закріплена нижня нерухома плита (стіл). Стіл становить масивний виливок, на верхній поверхні якого встановлюється матриця прес-форми. У його центрі розташовується циліндр з плунжером для виштовхування виробу з прес-форми. Нижня плита колонами з'єднана з верхньою нерухомою поперечиною, яка утримує робочий циліндр.

До верхньої частини робочої (рухомої) плити кріпиться плунжер преса, який рухається у робочому циліндрі та створює необхідний тиск, а до нижньої – пуансон прес-форми. Робоча плита рухається по колонах, здійснює пресування і повертається у попереднє положення.

У бічних приливках стола преса розташовані два циліндри зворотної дії з плунжерами, з'єднаними з робочою плитою. Коли формування виробу завершено, робоча рідина подається у циліндри зворотної дії, і плита з плунжером підіймається вгору. Після цього виштовхувач витискає виріб на поверхню прес-форми.

Зусилля пресування створюється робочою рідиною (мінеральною оливою) високого (20...32 МПа) або низького (0,8 МПа) тиску. Кожний прес має індивідуальний гідропривід, який складається з насосів високого і низького тиску, резервуару для оливи, циркуляційних клапанів, які дозволяють стравлювати оливу з циліндрів під час холостого ходу, і розподільники для високого і низького тиску.

Важливою вимогою до гідравлічних пресів є достатність розмірів вікна (тобто відстані від плунжера преса у крайньому верхньому положенні до стола преса) і ходу плунжера. Звичайно використовуються преси, в яких розміри вікна у 4...5 разів, а хід плунжера – у 3...4 рази більше висоти виробу (пресовки) або матриці прес-форми.

Пресування металевих порошків на гідравлічних пресах дозволяє розвивати виключно великі зусилля пресування (до 500 МН), забезпечує можливість плавного регулювання ущільнення з порівняно малими швидкостями, що важливо при пресуванні дрібнозернистих порошків великими зусиллями, коли особливо ймовірно з'явлення розшарування по площинах головних напружень. Крім того, важливою обставиною є також забезпечення будь-якого часу витримки пресовки під тиском і порівняно легкого регулювання режиму пресування.

Проте гідравлічні преси мають й свої недоліки: громіздкість гідравлічних систем; потреба у великій кількості оливи, що циркулює в системі; обмежений термін служби робочої рідини; доволі низька продуктивність.

При виборі преса для виготовлення певного виробу основними характеристиками є зусилля пресування і необхідний хід верхнього пуансона, який повинен забезпечити заданий розмір виробу.

Зусилля преса P вибирають на підставі зусилля $P_{\text{пр}}$, необхідного для пресування даної деталі:

$$P = k \cdot P_{\text{пр}} (\text{МН}), \quad (8.1)$$

де k – коефіцієнт запасу зусилля (звичайно $k = 1,25 \dots 1,40$).

Коефіцієнт запасу зусилля обирається залежно від умов виробництва, а також включає в себе зусилля на подолання тертя при пресуванні $P_{\text{тр}}$. В інтервалі щільності пресовки $50 \dots 100\%$ $P_{\text{тр}}$ становить $(0,3 \dots 0,4)P_{\text{пр}}$.

У свою чергу зусилля пресування

$$P_{\text{пр}} = p \cdot S (\text{МН}), \quad (8.2)$$

де p – тиск пресування, МПа; S – площа проекції максимального поперечного перерізу виробу, перпендикулярного напрямку пресування, м^2 .

Тиск пресування p залежить від виду порошку, його гранулометричного складу, насипної густини та інших технологічних властивостей, а також заданої щільності (пористості) виробу.

Хід верхнього пуансона $H_{\text{в.п}}$ (рис. 8.2) складається з величини шляху пресування h_1 , мм, і відстані h_2 , мм, від нижнього торця верхнього пуансона до верхнього торця матриці:

$$H_{\text{в.п}} = h_1 + h_2. \quad (8.3)$$

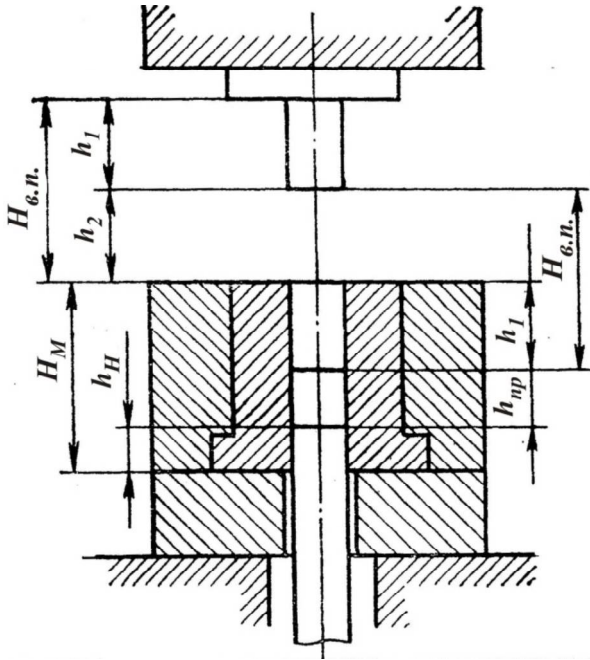


Рисунок 8.2 – Схема розрахунку ходу верхнього пуансона

Величина шляху пресування h_1 залежить від співвідношення розмірів пресовки $h_{пр}$ і завантажувальної камери $h_{зав}$ (на рис. 8.2 $h_{зав} = h_{пр} + h_1$), а їх розміри у свою чергу залежать від густини пресовки $\rho_{пр}$ та насипної густини порошку ρ_n відповідно. Тому

$$h_1 = h_{пр} \cdot (\rho_{пр} / \rho_n - 1). \quad (8.4)$$

Відстань h_2 залежить від прийнятого методу засипання шихти у завантажувальну камеру прес-форми.

Якщо дозування порошку (об'ємне чи масове) проводиться поза пресом, то відстань h_2 повинна забезпечити можливість зручного засипання відміряної порції шихти у порожнину матриці. Звичайно вона становить не менше 40 мм.

Якщо об'ємне дозування здійснюється яким-небудь засобом автоматизації (наприклад, касетою-живильником), то відстань h_2 знаходиться як

$$h_2 = h_k + h_{х.б}, \quad (8.5)$$

де h_k – висота касети-живильника; $h_{х.б}$ – хід, який забезпечує безпеку верхнього пуансона.

У випадках, коли касета-живильник переміщається для заповнення прес-форми при нерухомому пуансоні преса, величина $h_{х.б}$ має бути не менше 5 мм.

З урахуванням заходу у матрицю нижнього пуансона h_n (звичайно 5...20 мм) можна визначити необхідну висоту матриці H_m :

$$H_m = h_1 + h_{пр} + h_n. \quad (8.6)$$

Знаючи потрібні для виготовлення певного порошкового виробу зусилля преса і хід верхнього пуансона, за проспектами фірм, довідниками обирають оптимальну модель гідравлічного преса.

8.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується принципу роботи і видів гідравлічних пресів, їх конструкції та способу підбору необхідного преса.

[2] с. 193-195; [4] с. 145-146; [5] с.171-172.

8.4 Контрольні запитання

1. На чому ґрунтується робота гідравлічних пресів?
2. Які види гідравлічних пресів Ви знаєте?
3. На яких частинах гідравлічного преса кріпляться елементи прес-форми?
4. Назвіть переваги і недоліки гідравлічних пресів.
5. За якими параметрами звичайно підбирається гідравлічний прес для виготовлення певного виробу?

8.5 Обладнання, інструменти

1. Гідравлічний прес
2. Калькулятор

8.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації гідравлічних пресів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

8.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з принципом роботи і призначенням різних видів гідравлічних пресів.

2. Вивчити конструкцію лабораторного гідравлічного преса, ознайомитися з порядком його використання при виготовленні порошкових виробів.

3. Отримати від викладача завдання: вид (марку) металевого порошку, розміри виробу (висоту h_{np} і площу максимального поперечного перерізу S), а також його заплановану відносну щільність. Визначитися з методом засипання шихти у завантажувальну камеру прес-форми.

4. За матеріалом та запланованою відотною щільністю виробу визначити необхідний тиск пресування p .

Залежність відотної щільності виробу від тиску пресування p для деяких порошків наведена у додатку А.

5. Для заданих умов пресування за допомогою довідників (наприклад, [9]) або ГОСТів визначити насипну густину порошку ρ_n і густину пресовки ρ_{np} .

Ці дані для залізних порошків згідно з ГОСТ 9849-86 [7] наведені у додатках Б і В.

6. За формулами (8.1), (8.2) визначити зусилля преса P .

7. Користуючись вихідними даними і формулами (8.3), (8.4) та (8.5) (при необхідності), визначити хід верхнього пуансона $H_{в.п.}$.

8. Розрахувати висоту завантажувальної камери $h_{зав.}$.

9. На підставі отриманих даних підібрати прес для виготовлення заданого порошкового виробу.

(Див. [2] с. 175-179; [4] с. 140-141; [5] с. 174)

8.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику гідравлічних пресів та характер їх застосування.

2. Навести схему гідравлічного преса і короткий опис його конструкції.

3. Навести завдання на виготовлення порошкового виробу і розрахунки, необхідні для вибору потрібного гідравлічного преса.

4. За отриманими результатами обрати прес, здатний виготовити заданий порошковий виріб.

Лабораторна робота № 9

ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕС-ФОРМИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОШКОВИХ ВИРОБІВ

9.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами, конструкцією прес-форм для холодного пресування, принципами проектування і послідовністю розрахунків окремих елементів прес-форм; навчитися робити необхідні розрахунки прес-форм для виготовлення певного порошкового виробу.

9.2 Загальні відомості

Прес-форми для холодного пресування металевих порошків складаються з великої кількості деталей, але основними є три: матриця, яка служить для розміщення заздалегідь підготовленої відсіпки порошку (або суміші порошків) і забезпечує формування бічної поверхні пресовки; верхній пуансон, який служить для формування верхньої поверхні пресовки і передачі зусилля пресування порошку в матриці; нижній пуансон, який формує нижню поверхню пресовки. Серед додаткових пристроїв прес-форми важливу роль відіграє стрижень, який при необхідності формує у пресовці отвір.

Правильно спроектована прес-форма повинна забезпечити формування виробу заданої форми і розмірів; рівномірну щільність у всіх частинах спресованого виробу; можливість простого випресовування виробу з прес-форми; надійність, простоту і тривалий термін служби конструкції в цілому.

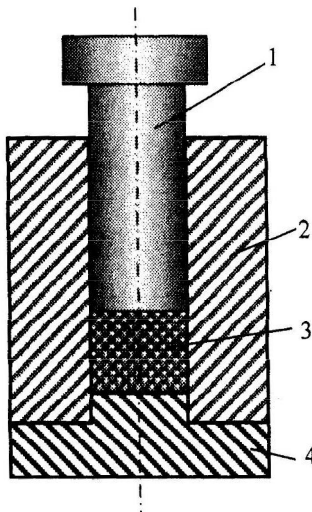
Прес-форми, які використовуються у порошковій металургії, класифікуються за такими ознаками:

- за експлуатаційними особливостями – стаціонарні та знімні;
- за способом заповнення порошком порожнини матриці – з об'ємним і ваговим дозуванням;

- за принципом пресування – однобічне і двобічне;
- за конструкцією матриці – з суцільною або рознімною матрицею;
- за кількістю формувальних гнізд – одно- і багатогнізді;
- за методом пресування – для ручного, напівавтоматичного або автоматичного пресування.

Конструкція прес-форми залежить від конфігурації виробу, його розмірів, від відношення висоти виробу до його діаметра або до товщини стінки. З цієї точки зору вироби поділяються на сім груп складності. Віднесення виробу до певної групи складності можна зробити за допомогою довідників [1, 2, 9]. Чим вище група складності, тим складніше конструкція і конфігурація прес-форми.

Вироби першої групи складності (тобто з незмінним поперечним перерізом, без отворів і з співвідношенням висоти до діаметра або іншого поперечного розміру не більше 1,5...2,0) виготовляються **однобічним** пресуванням у доволі простих прес-формах (рис. 9.1).

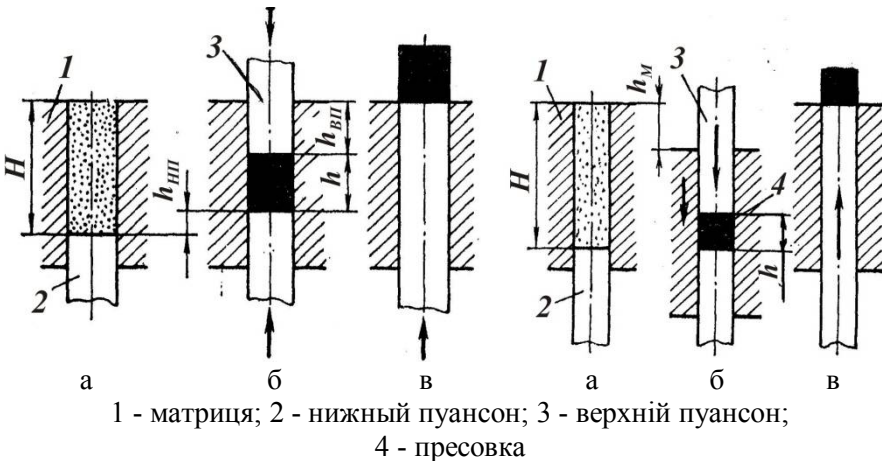


1 – верхній пуансон; 2 – матриця; 3 – виріб; 4 – нижній пуансон
(підставка)

Рисунок 9.1 – Схема однобічного пресування порошків

Складніші вироби з більшим відношенням висоти завантажувальної камери H до її діаметра використовують прес-форми **двобічного** пресування. При цьому може використовуватися як нерухома, так і рухома (рис. 9.2), або «плавальна», матриця.

При пресуванні з *нерухомою* матрицею здійснюється одночасне переміщення верхнього $h_{в.п}$ і нижнього $h_{н.п}$ пуансонів (рис. 9.2, ліворуч). При пресуванні з *рухомою* матрицею верхній пуансон і матриця рухаються разом (рис. 9.2, праворуч). Причому, величина їх переміщення має бути однаковою, тобто $h_m = h_{в.п} + h_{н.п}$.



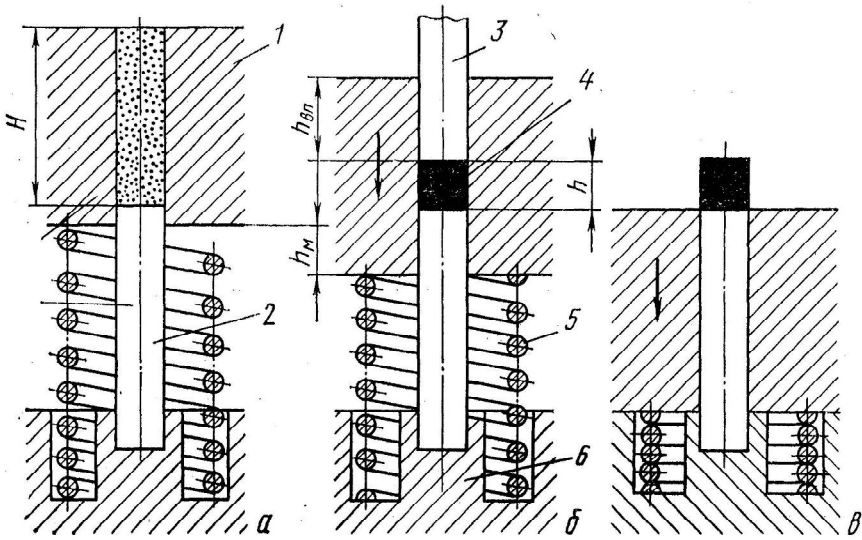
а – заповнення матриці порошком; б – пресування;

в – виштовхування виготовленої пресовки

Рисунок 9.2 – Двобічне пресування з нерухомою матрицею (ліворуч)
і рухомою матрицею (праворуч)

При пресуванні з «плавальною» матрицею примусовий рух отримує лише верхній пуансон (рис. 9.3). Він спочатку ущільнює шари порошку безпосередньо під ним. Тому у верхній частині прес-форми між стінками матриці і порошком, що пресується, виникають сили тертя більші, ніж у її нижній частині. Завдяки цьому матриця починає рухатися разом з пуансоном до того моменту, коли сили тертя в обох частинах матриці не вирівнюються. Тоді знову починає рухатися верхній пуансон. Він ще більше ущільнює верхні шари порошку, і виниклі сили тертя знову тягнуть матрицю за собою. Таке

почергове переміщення пуансона і матриці триває доти, поки не закінчиться процес пресування деталі.



а – заповнення матриці порошком; б – пресування;

в – виштовхування виготовленої пресовки

1 – матриця; 2 – нижній пуансон; 3 – верхній пуансон;

4 – пресовка; 5 – пружина; 6 – підставка

Рисунок 9.3 – Двобічне пресування з «плавальною» матрицею

При проектуванні прес-форм звичайно проводиться розрахунок геометричних розмірів і розрахунок на міцність деталей прес-форм. У даній лабораторній роботі розглядається розрахунок геометричних розмірів.

Геометричний розрахунок прес-форми складається з розрахунку розмірів матриці, пуансона і стрижня.

Розрахунок розмірів **матриці** полягає у визначенні розміру отвору і висоти матриці. Розміри робочої порожнини матриці залежать від виду матеріалу (порошку) виробу, його розмірів і кінцевої щільності, наступних операцій, які можуть вплинути на остаточні розміри спресованого виробу, а також від припуску на механічне оброблення, якщо він передбачається.

Розрахунок номінального *внутрішнього діаметра матриці* D , мм, здійснюється за формулою:

$$D = D_n \pm IT/2 - l_{pd} \pm n_d + K, \quad (9.1)$$

де D_n – номінальний розмір виробу, що пресується, мм; IT – поле допуску на номінальний розмір виробу, мм; l_{pd} – величина пружної післядії по діаметру, мм; n_d – величина зсідання (або збільшення) виробу при спіканні, мм; K – припуск на наступні операції, які можуть вплинути на остаточні розміри спресованого виробу.

Пружна післядія – це збільшення розмірів брикету після випресовування його з матриці. Основна частина пружного розширення брикету відбувається практично миттєво, в момент виштовхування брикету з матриці; решта – протягом певного часу до спікання. Величина пружної післядії по діаметру може становити від 2 до 3%. Чим більше ступінь обтиску порошку і чим менше він пластичний, тим більше пружна післядія.

У переважній більшості випадків при спіканні спостерігається *зсідання* – зменшення розмірів сформованого брикету за рахунок зменшення об'єму відкритих пор та їх заростання. Величина зсідання залежить від хімічного складу порошкової суміші, форми і розмірів часток порошку, тиску пресування, температури і тривалості спікання та ін. Величина зсідання для різних порошків та різних умов пресування і спікання може коливатися у межах від 5 до 12...15%.

Але у деяких випадках при спіканні спостерігається *збільшення* розмірів брикету при виникненні закритої пористості за рахунок утворення невідновлюваних оксидів, фазових перетворень, виділення газів тощо.

Якщо при спіканні розмір брикету зменшується, то у формулі (9.1) перед величиною n_d буде знак «плюс», а якщо збільшується – знак «мінус».

Припуск на наступні операції K , як правило, береться у межах 0,25...0,50 мм.

Величина $(D_n \pm IT/2)$ у формулі 9.1 фактично визначає максимальний і мінімальний діаметр матриці, тобто його поле допуску, яке треба узгодити зі стандартним полем допуску для отвору H відповідного квалітету.

Розрахунок *висоти матриці* починається з визначення висоти робочого каналу матриці $H_{\text{км}}$:

$$H_{\text{км}} = h_{\text{зав}} + h_{\text{в}} + h_{\text{н}}, \quad (9.2)$$

де $h_{\text{зав}}$ - висота завантажувальної камери, мм; $h_{\text{в}}$, $h_{\text{н}}$ - величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів відповідно, мм.

Величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів обираються конструктивно у межах 10...15 мм для кожного.

Висота завантажувальної камери складається з висоти готового виробу після спікання $h_{\text{пр}}$ і величини шляху пресування h_1 (тобто $h_{\text{зав}} = h_{\text{пр}} + h_1$).

Висота готового виробу після спікання

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ном}} - l_{\text{пв}} \pm n_{\text{д}} + K, \quad (9.3)$$

де $h_{\text{ном}}$ - номінальна висота готового виробу, мм; $l_{\text{пв}}$ - величина пружної післядії у вертикальному напрямку, мм; $n_{\text{д}}$ - величина зсідання/збільшення виробу (плюс при зсіданні, мінус при збільшенні); K - припуск на наступні операції.

Величина пружної післядії у вертикальному напрямку дещо більша і може становити від 2,5 до 5%.

Якщо висота виробу приблизно дорівнює діаметру, зсідання приймається однаковим як по висоті, так і по діаметру. Чим більше висота перевищує діаметр, тим більше зсідання по висоті перевищує зсідання по діаметру. І навпаки, тонка кругла пластина майже не змінюється по висоті, але має зсідання по діаметру.

Припуск на наступні операції K по висоті виробу береться приблизно такий же, як на діаметр.

Величини шляху пресування h_1 знаходиться за формулою (8.4) залежно від густини пресовки $\rho_{\text{пр}}$ та насипної щільності порошку $\rho_{\text{п}}$.

Для попередження появи розшарування у пресовці на вихідному кінці матриці передбачається розширення її каналу (рис. 9.4).

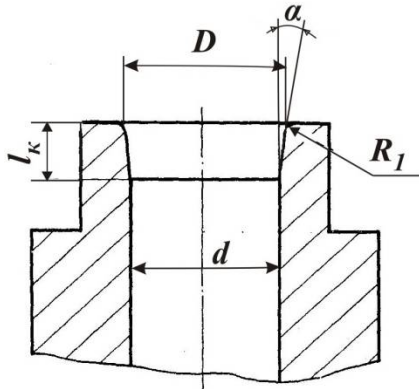


Рисунок 9.4 – Схема конічної частини матриці

Кут розширення α береться у межах від $0^{\circ}05'$ до $1,0^{\circ}$, а перевищення розширення каналу матриці над її діаметром $0,5 \cdot (D - d)$ становить від 0,2 до 0,5 мм. Чим більше діаметр матриці, тим більше перевищення і тим менше кут розширення. За таких умов довжина конусної ділянки l_k становить орієнтовно від 5 до 80...100 мм.

Якщо пресовка легко випресовується з матриці і не схильна до тріщиноутворення, то конусність у верхній частині матриці може бути відсутньою.

Таким чином, остаточна висота матриці H_m

$$H_m = H_{km} + l_k. \quad (9.4)$$

Діаметр пуансона залежить від номінального діаметра матриці. Він має бути на певну величину менше, щоб забезпечити зазор між ними. Зазор між сполучуваними деталями прес-форми повинен забезпечувати вихід повітря з пор виробу, що пресується. Проте у такі зазори не повинен просипатися порошок, оскільки це збільшує зношування прес-форми та зменшує точність виготовлення виробу.

На практиці мінімальний зазор між матрицею і пунсоном S_{min} обирається у межах 0,005...0,015 мм. Він відповідає розмірам *нової* прес-форми. Під час експлуатації зазор збільшується до величини S_{max} , яка залежить від обраного типу посадки та її точності.

Для пари «пунсон-матриця» рекомендується тип посадки H/g або H/f 6-го або 7-го квалітетів. Знаючи номінальний розмір пунсона (матриці) та задавшись мінімальним зазором S_{min} і типом посадки певного квалітету, визначають максимальний діаметр пунсона із співвідношення:

$$S_{min} = D_{min} - d_{max}, \quad (9.5)$$

де D_{min} – мінімальний діаметр матриці; d_{max} – максимальний діаметр пунсона.

Для даного номінального розміру пунсона поле допуску ($g7$, $f6$ і т.п.) обирається таким чином, щоб максимальний зазор

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} \quad (9.6)$$

був меншим за розмір часток основної фракції порошку, з якого виготовляється виріб.

Висота пунсона (мм), який служить для передачі зусилля пресування порошку і не є одночасно виштовхувачем, знаходиться за формулою

$$H_{\Pi} = H_M - h_{\Pi p} - h_{\Pi} + (5 \dots 10), \quad (9.7)$$

$$\text{або } H_{\Pi} = h_l + h_b + l_k + (5 \dots 10). \quad (9.8)$$

Якщо виріб має отвір, то необхідно спроектувати стрижень, який забезпечить його при пресуванні. **Діаметр стрижня** залежить від номінального розміру отвору, від зміни розмірів у процесі виготовлення (пружна післядія, усадка/зростання при спіканні) і приймається максимально можливими, щоб забезпечити найбільший припуск на зношування стрижня під час експлуатації.

Номінальний діаметр стрижня d_{ct} знаходиться за формулою

$$d_{ct} = d_{вн} \pm IT/2 + l_{пд} \pm n_d - K \quad (9.9)$$

Величина зсідання (або збільшення) виробу n_d при зсіданні береться зі знаком «мінус», а при збільшенні – зі знаком «плюс». Причому, для отримання максимально (мінімально) допустимого

розміру робочої частини стрижня ($d_{cm}^{\max}/d_{cm}^{\min}$) у формулу слід підставляти відповідно максимально (мінімально) допустимий діаметр отвору деталі.

9.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується видів прес-форм для виготовлення порошкових виробів, їх конструкції та методів розрахунку елементів прес-форми.

[1] с. 217-231; [2] с. 238-251; [4] с. 171-184; [5] с.73-81;
[9] с. 182-190.

9.4 Контрольні запитання

1. Як класифікуються прес-форми, які використовуються у порошковій металургії?

2. Як поділяються прес-форми за принципом пресування?

3. Для яких елементів прес-форми проводиться розрахунок геометричних розмірів?

4. Від чого залежать розміри робочої порожнини матриці?

5. Який тип посадки рекомендується для пари «пуансон-матриця»?

6. У яких випадках робиться розрахунок розмірів стрижня?

9.5 Обладнання, інструменти

1. Макети прес-форм

2. Калькулятор

9.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації прес-форм для виготовлення порошкових виробів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

9.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з принципом роботи і призначенням різних видів прес-форм для виготовлення порошкових виробів.

2. Вивчити конструкцію прес-форми для холодного однобічного пресування порошкових виробів (без виштовхувача).

3. Отримати від викладача завдання: вид (марку) металевого порошку, форму (циліндр, втулка, втулка з буртом) і розміри виробу з допусками на основні розміри, а також його заплановану відносну щільність.

4. Провести розрахунок розмірів матриці. Якщо виріб має східчастий характер, то для кожного елемента виробу розрахунок робиться окремо.

5. Враховуючи гранулометричні характеристики порошку виробу і рекомендований тип посадки, задатися мінімальним і максимальним зазорами між матрицею і пуансоном, і на їх підставі розрахувати розміри пуансона, який створює пресувальне зусилля.

6. При наявності у виробі отвору розрахувати діаметр стрижня.

7. На підставі отриманих розмірів з урахуванням зношування елементів прес-форми під час експлуатації встановити для них граничні відхилення, користуючись ГОСТ 25347-82 [6].

9.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику і класифікацію прес-форм.
2. Навести схему прес-форми і короткий опис її роботи.
3. Навести завдання на виготовлення порошкового виробу і розрахунки, необхідні для визначення розмірів елементів прес-форми.
4. За отриманими результатами встановити номінальні розміри і допуски елементів прес-форми.

Лабораторна робота № 10

ПРЕС-ФОРМИ З ВИШТОВХУВАЧАМИ

10.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами, конструкцією прес-форм для холодного пресування з виштовхувачами, з аналізом чинників, які впливають на зусилля випресовування, методикою розрахунку зусилля виштовхування та підбором на його підставі необхідного обладнання.

10.2 Загальні відомості

Металевий порошок у прес-формі під час пресування піддається всебічному стисканню. Зверху (а у випадку двобічного пресування – і знизу) на нього тисне пуансон, що рухається, а з боків – реакція стінок прес-форми, які опираються деформуванню. При цьому виникає тертя між частинками порошку і стінками прес-форми і між самими частинками. Зусилля, необхідне для подолання цього тертя при виштовхуванні пресовки після завершення її формування, називається **зусиллям випресовування**.

Для випресовування з матриці спресованої заготовки застосовують одну з двох схем:

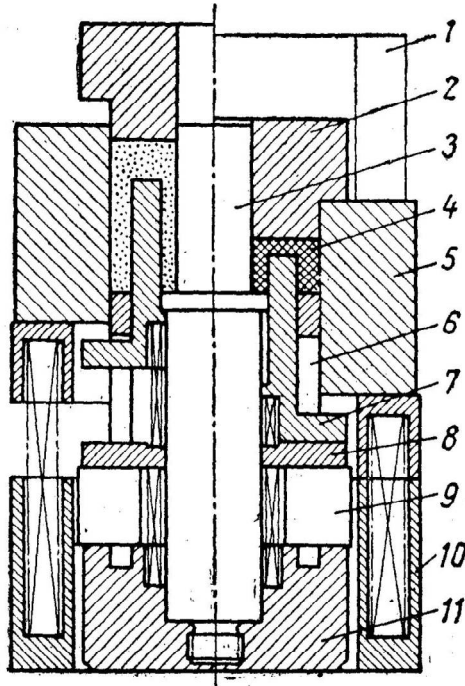
- при нерухомій матриці випресовування виконується одним з пуансонів;
- при нерухомих пуансонах (або при одному з них) випресовування здійснюється «стягуванням» матриці з заготовки за допомогою спеціальних упорів або тяг.

Проте на практиці частіше застосовують перший метод.

При проектуванні систем випресовування дотримуються таких загальних правил:

- для всіх частин заготовки, що виступають, особливо тонких, необхідно передбачати свій пристрій для їх примусового випресовування;
- у матриці повинні бути передбачені нахили і радіуси для полегшення випресовування;
- при виборі напрямку пресування порошку слід враховувати не лише потрібну кількість складених пуансонів та їх розташування, але й зручність випресовування заготовки;
- у випадку застосування рознімних матриць кількість рознімів слід обирати таким чином, щоб пресовка не залишалася затисненою у якій-небудь з частин рознімної матриці;
- випресовування повинно здійснюватися за мінімальну кількість ходів преса.

На рис. 10.1 наведена схема прес-форми для формування порівняно складного виробу, у якій для випресовування служить пуансон 7, один з двох нижніх пуансонів.



1 – надставка; 2 – верхній пуансон; 3 – стрижень;
 4 – пресовка; 5 – матриця; 6 – нижній пуансон;
 7 – нижній пуансон, який формує кільцевий паз; 8 – траверса;
 9 – упор; 10 – регулювальні підставки; 11 – основа
 Рисунок 10.1 – Схема прес-форми для пресування втулок з кільцевим пазом

Для певного виробу і розмірів прес-форми частка вертикального тиску, що витрачається на тертя, є величина постійна, пропорційна прикладеному тиску. Утрати тиску на подолання сил тертя між частинками порошків і стінками прес-форми (*зовнішнє тертя*) можуть становити 60...90% від зусилля пресування. Значну роль у втратах тиску відіграє тертя між самими частинками порошку (*внутрішнє тертя*), коефіцієнт якого може бути у декілька разів більше коефіцієнта зовнішнього тертя. На величину втрат також впливає схильність до схоплювання між матеріалом порошку і матеріалом стінки, наявності змащування, розміри прес-форми тощо.

У момент пресування виріб знаходиться у стисненому стані під дією прикладеного тиску пресування і реакції бічної стінки матриці, що дорівнює бічному тискові. Причому, на бічні стінки прес-форми передається значно менший тиск, ніж у напрямку пресування за рахунок утрат тиску пресування на подолання сил тертя. Кожна з цих сил викликає пружне стискання по координатній осі, яка співпадає з напрямом її дії, і розтягування по двом іншим координатним осям. Аналіз пружно-напруженого стану матеріалу пресовки в момент закінчення пресування дозволяє визначити кількісне співвідношення між питомим бічним тиском $p_{\text{біч}}$ і тиском пресування p . Такою характеристикою є коефіцієнт бічного тиску ξ . Залежно від виду матеріалу виробу він визначається як

$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}, \quad (10.1)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу пресовки.

Величину зусилля випресовування $P_{\text{впр}}$ визначає питомий бічний тиск $p_{\text{біч}}$, площі бічної поверхні виробу F і коефіцієнта тертя f :

$$P_{\text{впр}} = f p_{\text{біч}} \cdot F. \quad (10.2)$$

Питомий бічний тиск не залишається постійним по висоті, оскільки сили тертя, які виникають між частинками порошку і стінками прес-форми, поступово зменшують величину осьового тиску пресування. Але усереднений бічний тиск знаходиться за формулою:

$$p_{\text{біч}} = \xi \cdot p, \quad (10.3)$$

де ξ – коефіцієнт бічного тиску; p – тиск пресування, МПа.

Коефіцієнт бічного тиску ξ залежить від пластичності порошку, дисперсності і форми його зерен, а також у певному ступені – від отриманої щільності пресовки. Чим пластичніше матеріал порошку, тим більше значення ν , а отже й більше ξ .

Площа бічної поверхні виробу F залежить від конфігурації виробу, довжини його зовнішнього периметру в плані та висоти пресовки. Для циліндричного виробу діаметром D і висотою $h_{\text{пр}}$

$$F = \pi \cdot D \cdot h_{\text{пр}} \cdot p \quad (10.4)$$

Коефіцієнт тертя f залежить від виду порошку і тиску пресування. Зі збільшенням тиску пресування коефіцієнт тертя дещо зменшується або залишається постійним.

Таким чином, для циліндричного виробу величину зусилля випресовування можна знайти за формулою:

$$P_{\text{впр}} = f \cdot \xi \cdot \pi \cdot D \cdot h_{\text{пр}} \cdot p \quad (10.5)$$

10.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується конструкції прес-форм для виготовлення порошкових виробів, особливостей їх роботи у різних технологічних процесах.

[1] с. 196-200; [4] с. 176-177; [5] с. 84-86.

10.4 Контрольні запитання

1. Що називається зусиллям випресовування?
2. Як може здійснюватися випресовування виробу з прес-форми?
3. На що витрачається зусилля випресовування?
4. Чим визначається коефіцієнт бічного тиску?
5. Від яких параметрів залежить величина зусилля виштовхування?

10.5 Обладнання, інструменти

1. Макети прес-форм
2. Калькулятор

10.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації прес-форм для виготовлення порошкових виробів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

10.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкцію прес-форми для холодного однобічного пресування порошкових виробів з виштовхувачем.
2. Отримати від викладача завдання: вид (марку) металевого порошку, форму (циліндр, втулка, втулка з буртом) і розміри виробу з допусками на основні розміри, а також його заплановану відносну щільність.
3. За матеріалом та запланованою відотною щільністю виробу визначити необхідний тиск пресування p і розрахувати зусилля, необхідне для пресування, $P_{пр}$ (формула (8.2)).
4. За визначеною вище методикою розрахувати зусилля випресовування $P_{впр}$ (формула (10.5)). Необхідні для розрахунків значення коефіцієнту Пуассона і коефіцієнта тертя для сумішей на основі деяких порошків наведені у додатку Г.
5. Визначити, яку частку зусилля пресування становить зусилля випресовування.

10.8 Зміст звіту

1. Дати загальне визначення зусилля випресовування і навести способи здійснення випресовування.
2. Навести чинники, які впливають на величину зусилля виштовхування.
3. Навести завдання на виготовлення порошкового виробу і розрахунки, необхідні для визначення зусилля випресовування.
4. За отриманими результатами розрахунків встановити, яку частку зусилля пресування становить зусилля випресовування.
5. Оцінити роль величини зусилля випресовування у проектуванні прес-форми і виборі обладнання для пресування.

Лабораторна робота № 11

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОКАТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

11.1 Мета роботи

Ознайомитися з принципом, способами прокатування металевих порошків, з технологічними параметрами, які впливають на

якість продукції; видами прокатних станів; навчитися розраховувати їх параметри, необхідні для виготовлення певної продукції.

11.2 Загальні відомості

Прокатування порошків – це метод отримання виробів (заготовок) з металевих порошків шляхом оброблення їх з використанням валків прокатного стану, що обертаються назустріч один одному.

Прокатування порошків забезпечує високу продуктивність при порівняно низькій енергоємності процесу. Воно застосовується для виготовлення пористих виробів, заготовок та напівфабрикатів типу стрічок, штаб, листів, дроту і т.п. Щільність таких виробів становить 50...90%.

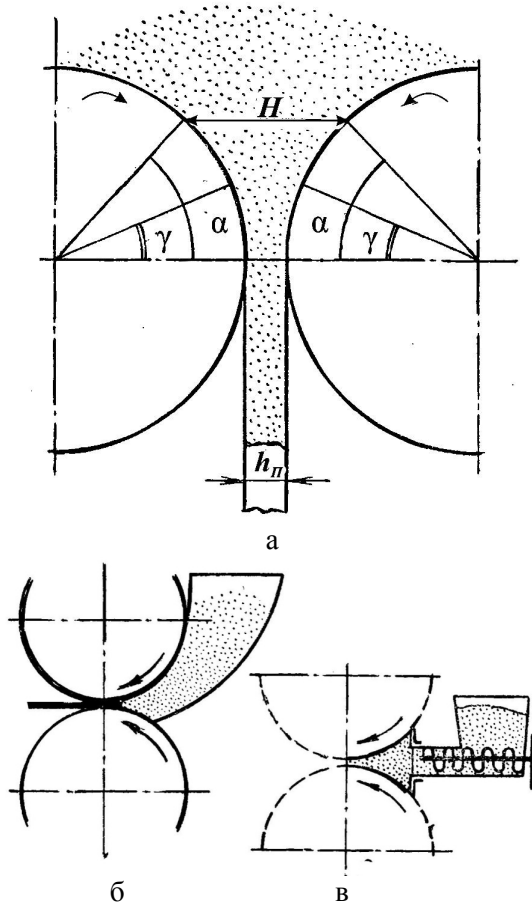
Використовують, як правило, *вертикальне* прокатування (рис. 11.1 а), при якому осі прокатних валків розташовані в одній горизонтальній площині, і *горизонтальне* (рис. 11.1 б,в), при якому осі валків розташовані в одній вертикальній площині.

Порошок у валки може подаватися вільно, під дією гравітаційних сил (рис. 11.1, а,б) або примусово (рис. 11.1, в).

Процес прокатування металевих порошків відрізняється від прокатування компактних металів. При прокатуванні компактного (литого) металу не змінюється його об'єм і маса; деформування починається одразу, як тільки метал попадає у зазор між валками. Прокатування порошків проходить у два етапи: ущільнення і деформування.

На першому етапі сили тертя між валками і порошком та між частинками порошку втягують їх у напрямку обертання валків. За рахунок цього відбувається *ущільнення*, яке полягає у тому, що частинки порошку поступово зближуються за рахунок зменшення пор між ним і виходу повітря назовні. Об'єм порошку зменшується. Початок зони ущільнення визначається центральним кутом валків α – кутом захоплення (рис. 11.1, а). Величина кута захоплення залежить від матеріалу порошку, форми і розмірів його частинок, наявності (або відсутності) змащування, стану поверхні валків тощо та обмежується коефіцієнтом тертя f і коефіцієнтом бічного тиску ξ :

$$\alpha \leq f + \xi. \quad (11.1)$$



а – вертикальне прокатування; б, в – горизонтальне прокатування
 Рисунок 11.1 – Схеми прокатування металевих порошків

Центральний кут валків γ – кут спресовування (рис. 11.1, а) – визначає межу між металевим порошком і прокатаним матеріалом (формовкою). У зоні, яка обмежена рівнем кута γ і аж до виходу прокату із зазору між валками, відбувається власне *деформування* порошку. Об'єм і пористість матеріалу більше не змінюються, відбувається власне пластичне деформування металевих частинок порошку. На цьому етапі на поверхні валків виникають сили, які

створюють опір руху прокату, як і при прокатуванні компактних металів.

Внаслідок прокатування порошок ущільнюється від насипної щільності ρ_n до щільності прокату ρ_p . Відношення цих величин називається ступенем ущільнення Z :

$$Z = \rho_p / \rho_n. \quad (11.2)$$

Основними технологічними параметрами процесу прокатування металевих порошків є відношення діаметра валків до товщини прокату, співвідношення швидкостей подавання порошку і прокатування, ступеня ущільнення порошку в прокаті, кут захоплення та ін.

Рівняння прокатування порошків, яке ґрунтується на законі сталості маси, має вид:

$$\rho_p = \rho_n \cdot (1 + \alpha_{зв}^2 \cdot R/h_p), \quad (11.3)$$

де $\alpha_{зв}$ – зведений (або умовний) кут захоплення, рад.; R – радіус валків, мм; h_p – товщина прокату, мм.

Визначити реальний кут захоплення α для конкретних умов прокатування дуже важко. Крім вищезгаданих чинників на його величину додатково впливає коефіцієнт витягування μ , який дорівнює відношенню швидкості виходу прокату до швидкості подавання порошку. Цей коефіцієнт має не занадто відрізнятися від одиниці, тобто лінійна швидкість поверхні валків повинна бути близькою до швидкості переміщення порошку з бункеру у зазор між валками. Значне перевищення швидкістю прокатування (виходу прокату) швидкості подавання порошку може призвести або до збільшення пористості, або до значної її нерівномірності. Тому для практичних розрахунків використовується зведений (або умовний) кут захоплення $\alpha_{зв}$, розрахований для деяких порошків, які прокатувалися між гладкими горизонтально розташованими валками (вертикальне прокатування) без змащування при вільному (гравітаційному) подаванні порошку і коефіцієнті витягування $\mu = 1$ (додаток Д).

Рівняння (11.3) дозволяє провести аналіз технологічних параметрів прокатування.

Наприклад, необхідно прокатати виріб з порошку з відомими властивостями із заданими розмірами поперечного перерізу і необхідною пористістю. За допомогою рівняння (11.3) можна визначити необхідний діаметр валків прокатного стану і по ньому підібрати для виконання цієї задачі обладнання. Знаючи спосіб і швидкість подачі порошку в валки, можна визначити оптимальну швидкість прокатування.

І навпаки, маючи певне обладнання, можна розрахувати, яку стрічку можна на ньому прокатати, і продумати, що можна змінити у складі, властивостях і розмірах стрічки, щоб отримати необхідну якість продукції.

Прокатування порошків здійснюється на прокатних станах, які мають конструкцію, аналогічну прокатним станам для прокатування компактних металів. Вони можуть мати одну або декілька двох- або чотирьохвалкових клітей. Валки промислових прокатних станів мають діаметр робочої бочки від 20 до 500 мм і довжину від 110 до 600 мм. На них виготовляються стрічки товщиною від 0,12...0,50 до 1,5...6,0 мм.

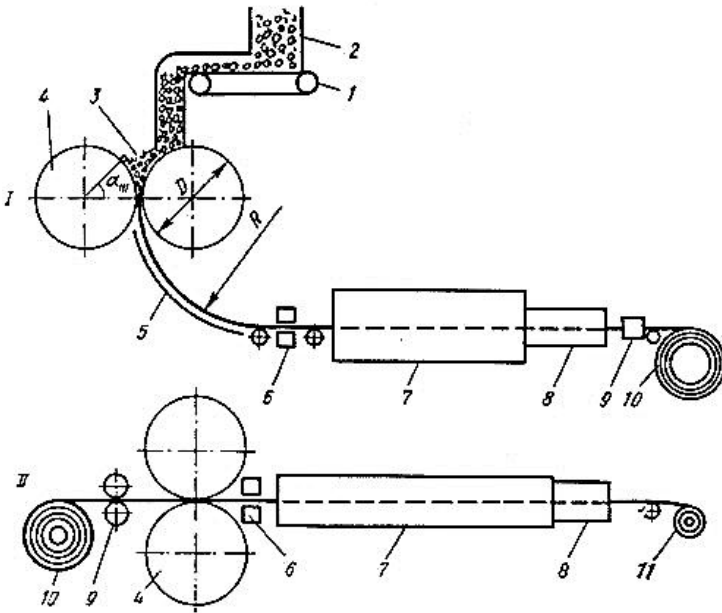
Типовими елементами технологічної лінії для отримання прокату з металевих порошків є багатокліттевий прокатний стан, прохідна піч спікання, стани для прокатування після спікання, прохідні печі для проміжного відпалювання, намотувача, печі для остаточного термічного оброблення та ін.

На рис. 11.2 наведений приклад однієї з таких технологічних ліній.

11.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується прокатування порошкових виробів, технологічних параметрів прокатування, особливостей роботи прокатних станів.

[1] с. 264-274; [2] с. 212-218; [3] с. 161-168 .



I – первинне прокатування порошкової стрічки;

II – ущільнююче прокатування стрічки;

1 – транспортер-дозатор; 2 – бункер; 3 – зона ущільнення і деформування; 4 – прокатні валки; 5 – спрямовуючий жолоб;

6 – датчики натягу; 7 – камера нагрівання; 8 – холодильник печі; 9 – ножиці; 10 – мірні рулони стрічки; 11 – намотувач

Рисунок 11.2 – Схема виробництва порошкової стрічки

11.4 Контрольні запитання

1. Що називається прокатуванням порошків?
2. Назвіть основні види прокатування.
3. У чому полягає суть прокатування порошків?
4. На якому законі ґрунтується рівняння прокатування порошків?
5. Які прокатні стани використовуються для прокатування металевих порошків?

6. З яких елементів може складатися технологічна лінія для отримання прокату з металевих порошків?

11.5 Обладнання, інструменти

1. Макет прокатного стану
2. Калькулятор

11.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації прокатних станів для виготовлення порошкових виробів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

11.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити процес прокатування металевих порошків і конструктивні елементи прокатних станів.

2. Отримати від викладача завдання: вид металевого порошку або суміші порошків, товщину h_n і пористість Π прокату.

3. За заданою пористістю Π , %, на підставі густини відповідного компактного металу ρ_k , г/см³, знайти щільність прокату ρ_n , г/см³, який передбачається виготовляти:

$$\rho_n = \rho_k \cdot (1 - \Pi/100). \quad (11.4)$$

Якщо порошок складається практично з одного металу, то густина відповідного компактного металу ρ_k знаходиться у довідниках.

Якщо порошок виробу становить суміш порошків окремих металів і неметалів, то залежно від густини і частки кожного складника густина компактного виробу визначається за формулою:

$$\rho_k = 100 / \sum_{i=1}^n (a_i / \rho_i), \quad (11.5)$$

де a_i – вміст окремих компонентів у суміші, % (за масою); ρ_i – густина відповідних компонентів, г/см³.

4. За товщиною прокату h_n , мм, насипною щільністю ρ_n , г/см³, і зведеним кутом захоплення $\alpha_{зв}$, рад., його матеріалу, знайти радіус валків R , мм:

$$R = h_n \cdot (\rho_n / \rho_n - 1) / \alpha_{зв}^2. \quad (11.6)$$

5. Визначений розрахунком діаметр валка D округлити до стандартної величини. Можливі зміни у розмірах або щільності виробу, викликані округленням, можна відрегулювати за рахунок швидкості прокатування (частоти обертання валків).

11.8 Зміст звіту

1. Дати загальне визначення прокатуванню металевих порошків і навести способи їх прокатування.
2. Навести чинники, які впливають на величину ступеня ущільнення
3. Навести основні технологічні параметри прокатування порошків та етапи ущільнення і деформування їх у процесі прокатування.
4. Навести завдання на виготовлення прокату і розрахунки, необхідні для визначення діаметра валків.
5. Оцінити ступінь впливу окремих параметрів і властивостей порошку на результати розрахунків.

Лабораторна робота № 12

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МУНДШТУЧНОГО ФОРМУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

12.1 Мета роботи

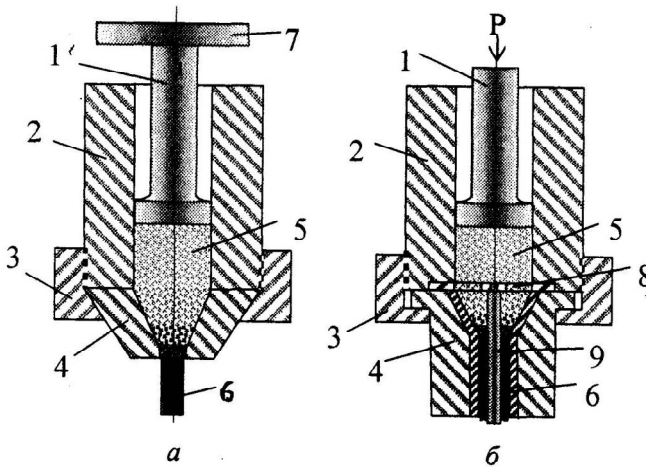
Ознайомитися з технологією мундштучного формування металевих порошків, технологічними параметрами, які впливають на якість продукції; а також з оснащенням для мундштучного формування; навчитися оцінювати вплив технологічних параметрів на вибір необхідного обладнання.

12.2 Загальні відомості

Мундштучне формування – формування металевих порошків шляхом продавлювання їх через отвір.

Форма отвору визначає форму і розміри поперечного перерізу виробу. Мундштучним формуванням виготовляють прутки і профілі різноманітного поперечного перерізу, труби, свердла та інші довгомірні вироби. Перевагою цього методу є можливість виготовлення видовжених виробів з рівномірною щільністю.

Через отвір можна продавлювати як порошок, так і попередньо підготовлену суміш (рис. 12.1). У матрицю поміщають безпосередньо порошок (суміш) або заздалегідь спресовану з нього заготовку.



а – формування суцільних профілів; б – формування порожнистих профілів

- 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – тримач мундштука;
4 – мундштук; 5 – порошок; 6 – сформований виріб;
7 – плунжер преса; 8 – зірочка, що утримує голку; 9 – голка

Рисунок 12.1 – Схеми мундштучного формування

При формуванні суцільного профілю порошок вільно проходить через отвір матриці (рис. 12.1, а). Якщо треба сформувати порожнистий профіль, в отвір матриці вводиться голка відповідного поперечного перерізу (рис. 12.1, б).

Кількісною характеристикою мундштучного формування є *ступінь обтискання*. Ступінь обтискання при мундштучному формуванні розраховується за формулою:

$$K = \frac{S - s}{S} \cdot 100\%, \quad (12.1)$$

де S – площа поперечного перерізу матриці прес-форми; s – площа поперечного перерізу вихідного отвору мундштука.

Для зменшення тертя порошку о внутрішню поверхню матриці і мундштука на ці поверхні наносяться (або вводяться у склад порошку) різні мастила або пластифікатори (парафін, розчин каучуку у бензині, розчин бакеліту у спирті, розчин полівінілового спирту у воді, графіт та інші мастила). Вибір того чи іншого змащувального матеріалу залежить від його властивостей та впливу на процес подальшого спікання виробу. Кількість мастила чи пластифікатора у складі порошкової суміші звичайно не перевищує 6...10% (за масою).

Заготовки, які формувалися з використанням мастил на основі водних розчинів, піддають сушінню до кінцевої вологості не більше 4...6%.

Процес видавлювання порошку характеризується всебічним нерівномірним стисканням. Під дією стискальних напружень матеріал плине у напрямку вихідного отвору матриці, де на вільній поверхні матеріалу, що витискається, нормальні напруження дорівнюють нулю.

Всебічне нерівномірне стискання забезпечує матеріалу найвищу пластичність у порівнянні з іншими процесами оброблення порошків тиском. Проте в умовах надто нерівномірних деформацій і швидкостей деформування матеріалу з плином його до виходу з матриці стискальні напруження безперервно зменшуються. Тому у порошковому матеріалі, що рухається, утворюються окремі шари, які відрізняються напруженим станом. Це явище є причиною деяких дефектів структури у заготовках і спечених виробах.

Щоб уникнути цих дефектів, процес мундштучного пресування часто поділяється на дві операції: попереднє ущільнення порошку (підпресовування) і наступне витискання через мундштук. *Попереднє підпресовування* забезпечує зниження пористості спечених виробів і значно підвищує їх міцність. Але підпресовані заготовки

вимагають збільшення тиску, необхідного для продавлювання матеріалу через мундштук.

Основними технологічними параметрами мундштучного формування, які впливають на технологічний процес і якість виробів, є швидкість видавлювання матеріалу через мундштук, кут конуса мундштука, ступінь обтискання, технологічні властивості матеріалу виробу, зусилля пресування та ін.

Швидкість видавлювання матеріалу через мундштук звичайно не перевищує 2...10 мм/с. Збільшення швидкості формування призводить до з'явлення нерівномірної пористості виробу, а це у свою чергу може викликати нерівномірність зсідання при спіканні і як наслідок – тріщини або жолоблення виробу.

Від кута конуса мундштука залежить величина зусилля пресування. Кут конуса звичайно знаходиться у межах 40...90°. Зменшення кута конуса при незмінній висоті мундштука призводить до збільшення ступеня обтискання і зусилля пресування внаслідок взаємного заклинювання частинок порошку. Збільшення кута конуса понад 90° не покращує умов пресування, оскільки утворюються зони застою, які не беруть участь у створенні виробу, але створюють опір плинину матеріалу за рахунок внутрішнього тертя. Найменше зусилля пресування забезпечує мундштук з кутом конуса 90°.

Для отримання виробу з оптимальною і рівномірною пористістю ступінь обтискання матеріалу при видавлюванні має становити не менше 90%.

Зусилля пресування P_{np} можна розрахувати за рівнянням:

$$P_{np} = 4\pi \cdot \frac{(D-d) \cdot D^2 \cdot v_{nl} \cdot \eta}{d^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{2\pi \cdot (D-d)}{d \cdot \operatorname{tg} \alpha} \cdot P_{nl}, \quad (12.2)$$

Де D і d – діаметри отворів матриці і мундштука відповідно; v_{nl} – швидкість витікання порошкової маси; η – в'язкість порошкової маси, що витискається; α – кут нахилу твірної конічної частини мундштука; P_{nl} – умовна динамічна границя плинності порошкової маси.

Зусилля пресування звичайно знаходиться у межах 300...500 МПа.

Основними технологічними властивостями порошкової маси, що формується, є її в'язкість і пластичність, які залежать від хімічного і гранулометричного складу порошку, наявності (або відсутності) у складі суміші мастил чи пластифікаторів та інших чинників.

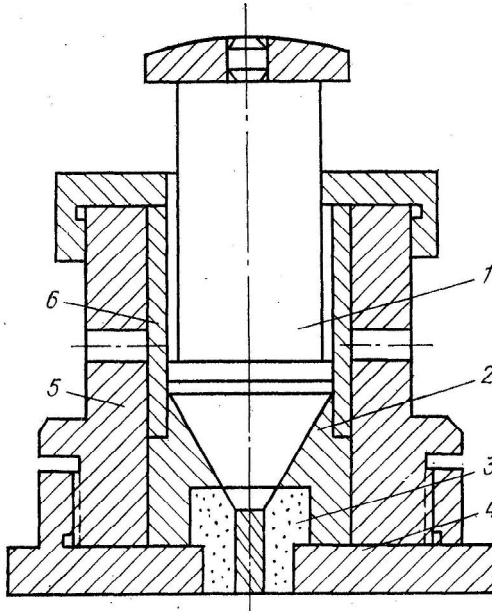
Прес-форми для мундштучного формування складаються, як правило, з мундштука, матриці, пуансона і – у випадку виготовлення порожнистих виробів – з зірочки та голки.

Матеріал основних деталей прес-форми – сталь ХВГ. Мундштук виготовляють із зносостійкіших матеріалів, наприклад, з твердих сплавів ВК6, ВК8. Висота мундштука при пресуванні труб і стрижнів невеликого поперечного перерізу повинна бути у 2,5...4,0 рази більше діаметра його вихідного отвору.

При виготовленні порожнистих виробів (труб) між матрицею і мундштуком встановлюється *зірочка* (рис. 12.1, б) – пластина з отворами, через які продавлюється порошкова маса. В її центр угвинчується *голка*. У зазорі між голкою й мундштуком формується стінка труби. Для формування виробів з постійним перерізом внутрішньої порожнини використовується циліндрична голка. Якщо необхідно отримати профіль зі змінним перерізом внутрішньої порожнини, використовується голка перемінного перерізу, яка за допомогою спеціального пристрою переміщується вздовж осі у напрямних зірочки. Залежно від того, яка ділянка рухомої голки знаходиться у вихідному отворі мундштука, випресовується виріб з меншим або більшим внутрішнім отвором.

Для виготовлення суцільних виробів зі складною зовнішньою поверхнею (наприклад, свердел) використовуються прес-форми зі змінним мундштуком з твердих сплавів (рис. 12.2), внутрішня поверхня яких відповідає конфігурації відповідного виробу.

Як обладнання для мундштучного формування використовуються преси і екструдери різної конструкції, деякі з підігріванням порошкової суміші та пристроями для створення вакууму чи необхідного захисного газового середовища. Заготовки з матеріалів, які інтенсивно окиснюються при нагріванні, іноді формуються у захисних оболонках з металів, які не реагують з матеріалом виробу.



1 – пуансон; 2 – конус; 3 – змінний мундштук; 4 – основа;
5 – обойма матриці; 6 – циліндр матриці

Рисунок 12.2 – Прес-форма для виготовлення мундштучним пресуванням виробів зі складною зовнішньою поверхнею

12.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується мундштучного формування порошкових виробів, технологічних параметрів формування, конструкції прес-форм для мундштучного формування.

[1] с. 274-278; [2] с. 210-212; [3] с. 150-155; [4] с. 187-189.

12.4 Контрольні запитання

1. Що називається мундштучним формуванням порошків?
2. Що служить кількісною характеристикою мундштучного формування?
3. Для чого використовується при мундштучному формуванні попереднє підпресовування?

4. Назвіть основні технологічні параметри мундштучного формування.

5. З яких основних елементів складається прес-форма для мундштучного формування?

6. Який кут конуса мундштука забезпечує найменше зусилля пресування?

12.5 Обладнання, інструменти

1. Матриця для мундштучного пресування

2. Калькулятор

12.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з правилами безпечної експлуатації екструдерів для виготовлення порошкових виробів і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

12.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити процес мундштучного формування металевих порошків і конструктивні елементи відповідної прес-форми.

2. Для заданого розміру поперечного перерізу виробу розрахувати розмір поперечного перерізу матриці прес-форми при ступені обтискання 90...95%.

3. На підставі рівняння (12.2) проаналізувати вплив основних технологічних параметрів на зусилля пресування при мундштучному формуванні:

- збільшення різниці між діаметрами отворів матриці D і мундштука d ... (збільшує/зменшує?)... зусилля пресування;

- збільшення швидкість витікання порошкової маси $v_{пл}$... (збільшує/зменшує?)... зусилля пресування;

- збільшення кута нахилу твірної конічної частини мундштука α ... (збільшує/зменшує?)... зусилля пресування; чому кут α не можна збільшувати понад 90° ;

- збільшення в'язкості порошкової маси η ... (збільшує/зменшує?)... зусилля пресування;

- динамічна плинність порошкової маси $P_{пл}$... (сприяє/не сприяє?)... збільшенню зусилля пресування.

4. Сформулювати оптимальні технологічні параметри для мундштучного формування.

12.8 Зміст звіту

1. Дати загальне визначення мундштучного формування металевих порошків.

2. Навести основні технологічні параметри мундштучного формування порошків.

3. Навести чинники, які впливають на величину зусилля мундштучного пресування.

4. Навести розрахунок згідно із завданням п. 2 порядку виконання лабораторної роботи.

5. Згідно з п. 3 порядку виконання лабораторної роботи навести висновок стосовно впливу основних технологічних параметрів на зусилля пресування при мундштучному формуванні.

Література

Основна

1. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия: Учебник/ С.С.Кипарисов, Г.А.Либенсон – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.
2. Кипарисов С.С. Оборудование предприятий порошковой металлургии: Учебник для вузов/ С.С.Кипарисов, О.В.Падалко – М.: Металургія, 1988. – 448 с.
3. Клячко Л.И.Оборудование и оснастка для формования порошковых материалов/ Л.И.Клячко, А.М.Уманский, В.Н.Бобров. – М.: Металлургия. 1986. – 336 с.
4. Либенсон Г.А. Оборудование цехов порошковой металлургии: Учеб. пособие/ Г.А.Либенсон, В.С.Панов – М.: Металлургия, 1983. – 264 с.
5. Поздняк Н.З. Проектирование и оборудование цехов порошковой металлургии/ Н.З.Поздняк, А.Н.Крушинский – М.: Машиностроение, 1965. – 299 с.

Додаткова

6. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки: ГОСТ 25347-82 – [Введен в действие 01.01.1990] - М.: изд. стандартов, 1990. – 53 с.
7. Порошок железный. Технические условия: ГОСТ 9849-86. – [Дата введения 01.07.1987] – М.: изд. стандартов, 1987. – 8 с.
8. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия: ГОСТ 6613-86 – [Дата введения 01.01.1988] – М.: изд. стандартов, 1988. – 12 с.
9. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник/[Федорченко И.Н., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. и др.]; отв. ред. И.М.Федорченко. – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.

Додаток А

Залежність відносної щільності порошків від тиску пресування

Порошки	Відносна щільність (%%) при тиску пресування (МПа):					
	300	400	500	600	700	800
Алюміній	97,3	97,5	97,5	97,5	97,9	97,9
Залізо	67,3	71,2	75,6	79,0	81,1	82,0
Латунь	66,8	71,0	73,9	77,3	79,2	79,7
Нікель	63,3	67,5	70,5	73,0	74,1	76,7
Титан	76,5	78,1	80,1	83,4	86,7	87,2

Додаток Б

Насипна густина залізних порошків

Позначення насипної густини	Насипна густина, г/см ³
22	Понад 2,10 до 2,30 включно
24	« 2,30 « 2,50 «
26	« 2,50 « 2,70 «
28	« 2,70 « 2,90 «
30	« 2,90

Додаток В

Залежність густини пресовки із залізних порошків від тиску пресування

Марка	Густина, г/см ³ , при тиску не менше		Марка	Густина, г/см ³ , при тиску не менше	
	400МПа	700 МПа		400 МПа	700МПа
ПЖВ1	6,4	7,1	ПЖВ4	5,7	6,4
ПЖВ2	6,2	7,0	ПЖР2	6,3	7,0
ПЖВ3	6,1	6,8	ПЖР3	6,2	6,9

Додаток Г
Коефіцієнти Пуассона та тертя

Порошки на основі:	Коефіцієнт Пуассона ν	Коефіцієнт тертя f
заліза	0,25...0,28	0,28...0,30
міді	0,31...0,34	0,22...0,25
сталі вуглецевої	0,24...0,28	0,35...0,37

Додаток Д
Зведений кут захоплення

Порошки:	Граничний кут захоплення	
	град.	рад.
залізний	$8^{\circ}20' \dots 9^{\circ}40'$	0,145...0,169
мідний	$10^{\circ}50'$	0,188
нікелевий	$12^{\circ}40'$	0,222
титановий	$12^{\circ}20'$	0,215