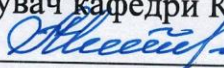


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

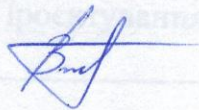
ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ
Завідувач кафедри КМХТ
проф.  Олександр МІТЯЄВ
(пвдпис) (прізвище, ініціали)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

ПРОЄКТУВАННЯ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ
(тема дипломної роботи)

ЗАЛІЗНИХ ПОРОШКІВ

Розробив
студ. гр.БАД219



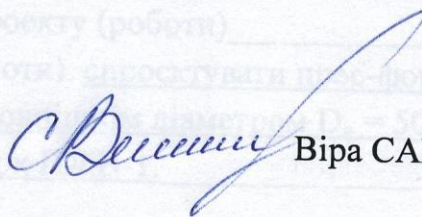
Владислав ПИЛИПЕНКО

Керівник доцент
(вчене звання)



Володимир ПЛЕСКАЧ

нормоконтролер доцент
(вчене звання)



Віра САВЧЕНКО

2023 р.

Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра Композиційних матеріалів, хімії та технологій
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) бакалавр
Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і назва)
освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові матеріали, покриття
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КМХТ Олександр МІТЯЄВ
« 29 » 03 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ПИЛИПЕНКУ Владиславу Геннадієвичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проектування прес-форм для виготовлення виробів із залізних порошків

керівник проекту (роботи) Плескач Володимир Михайлович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 29 » 03 2023 р., № 75

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.06.2023 р.

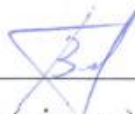
3. Вихідні дані до проекту (роботи) спроектувати прес-форму для виготовлення виробу -циліндрична втулка з зовнішнім діаметром $D_n = 50$ мм, внутрішнім – $d_{вн} = h_{пр} = 40$ мм із залізного порошок ПЖВ-1.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити вид прес-форми; розрахунок геометричних розмірів елементів прес-форми; перевірка їх на міцність

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) креслення розробленої прес-форми

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ п.п.	Назва етапів дипломної роботи	Строк вико- нання етапів роботи	Примітка
	Вступ, розділ 1	25.05.2023	
	Розділ 2	30.05.2023	
	Розділ 3	02.06.2023	
	Попередній захист	02.06.2023	

Студент  (Пилипенко В.Г.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)  (Плескач В.М.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи бакалавра «Проектування прес-форм для виготовлення виробів із залізних порошків» має обсяг 31 с., 5 рис., 1 додаток.

Пояснювальна записка містить відомості про конструкцію і роботу прес-форм для виготовлення виробів з порошкових матеріалів. Наведена послідовність розрахунків елементів прес-форм за геометричними розмірами і за міцністю. Одночасно наведений приклад використання запропонованої методики розрахунку прес-форми для виготовлення конкретного виробу із залізного порошку.

Також наведені правила техніки безпеки у порошковій металургії.

ПРЕС-ФОРМА, МАТРИЦЯ, ПУАНСОН, ТИСК ПРЕСУВАННЯ,
ПРЕСОВКА, ЗАЛІЗНИЙ ПОРОШОК

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Види і конструкція прес-форм для виготовлення виробів з порошкових матеріалів	8
1.1 Класифікація і конструкція прес-форм	8
1.2 Робота прес-форм	9
1.3 Аналіз експлуатації та розрахунок прес-форм	11
2 Визначення розмірів конструкційних елементів прес-форм	13
2.1 Завдання на проєктування	13
2.2 Геометричний розрахунок прес-форм	15
2.3 Розрахунок елементів прес-форм на міцність	21
3 Техніка безпеки у порошковій металургії	26
Висновки	28
Перелік посилань	29
Додаток А. Матеріали для виготовлення деталей прес-форм	31

ВСТУП

Одним з основних напрямків розвитку сучасного високоефективного виробництва сьогодні є порошкова металургія. Вона відіграє значну роль у технічному прогресі, оскільки спроможна виготовляти нові матеріали і вироби, які за допомогою інших традиційних технологій виготовити неможливо. Підвищення навантажень і швидкостей у роботі різноманітних машин і механізмів вимагає створення нових високоякісних матеріалів і виробів. Застосування нових порошкових матеріалів дозволило у декілька разів збільшити термін служби багатьох машин, значно зменшити собівартість їх виготовлення та підвищити продуктивність праці.

Порошкова металургія має у своєму розпорядженні велику кількість різноманітних технологічних процесів, які дозволяють виготовляти деталі масою від сотень кілограмів до декількох грамів. Серед них одним з наймасовіших технологічних процесів є пресування. Якість виготовленого ним виробу залежить від точності та якості самої прес-форми, в якій він виготовляється виробів з металевих порошків.

Основним обладнанням при пресуванні є преси, а оснасткою – прес-форми. Прес-форма – основний інструмент, який надає виробу необхідні форму і розміри. Якість виготовленого виробу залежить від точності та якості самої прес-форми, в якій він виготовляється. Тому велике значення має визначення точних розмірів елементів і надійності конструкції прес-форми. Пресування металевих порошків здійснюється з великим питомим тиском. У зв'язки з цим необхідно проводити ретельний розрахунок технологічних деталей прес-форм на міцність.

Перед даною дипломною роботою стояла актуальна задача розробити процес проєктування прес-форм для виготовлення виробів із залізних порошків холодним пресуванням. Труднощі роботи полягали у тому, що геометричні розміри деталей прес-форми залежать не лише від геометрії виробу та властивостей відповідного металевих порошку, але й від режимів супутніх технологічних процесів. Так,

розміри формотвірних поверхонь матриці і пуансона залежать від насипної щільності порошку, від його здатності створювати пружну післядію при виштовхуванні, а також від величини усадки після спіканні.

Міцність і розміри прес-форми залежать не лише від правильно обраного матеріалу, а також від її жорсткості, яка визначається як матеріалом матриці, так і її конфігурацією.

При виконанні завдання роботи проводилися як приклад всі необхідні розрахунки для виробу з конкретними розмірами із заданого порошкового матеріалу.

РОЗДІЛ I

ВИДИ І КОНСТРУКЦІЯ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З ПОРШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Класифікація і конструкція прес-форм

Основні вимоги, які ставляться при пресуванні до головного виду оснастки – прес-форм, такі [1, 2]:

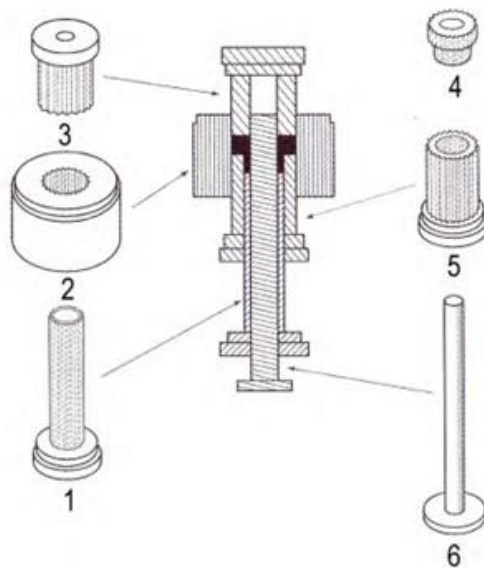
- здатність сформувати виріб необхідної форми, розмірів і щільності;
- забезпечити пресовці рівномірну щільність;
- можливість виштовхувати виріб без порушень форми і розмірів;
- здатність прес-форми надійно і довго працювати.

Ознаки, за якими класифікують прес-форми [2, 3, 4]:

- за можливостями експлуатації – стаціонарні та знімні;
- за способом пресування – з одно- і двобічним пресуванням;
- за складом матриці прес-форми – з суцільною або рознімною матрицею;
- за кількістю наявних у матриці гнізд – одно- і багатогніздні;
- за характером використання – для ручного, напівавтоматичного і автоматичного пресування.

Від конфігурації виробу, його розмірів, від відношення висоти виробу до його діаметра (до товщини стінки) залежить конструкція прес-форми. Деталі, з яких вона складається, поділяються на формотворні і технологічні. До формотворних деталей відносяться матриця, пуансон. Якщо виріб має отвір, додатково використовується стрижень. Матриця контактує із зовнішньою конфігурацією виробу і забезпечує міцність при навантаженнях. Для передачі зусилля пресування служить пуансон. Залежно від того, який за складністю виготовляється виріб, пуансон може бути один або два (верхній і нижній). Він може бути суцільним, а у деяких випадках складатися з двох або більше

елементів. До технологічних відносяться деталі кріплення, пружини, втулки, кільця і т.п. (рис.1.1).



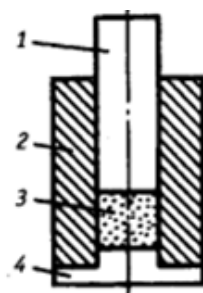
1 – втулка нижнього пуансона; 2 – матриця; 3 – верхній пуансон; 4 – пресовка; 5 – нижній пуансон; 6 – стрижень

Рисунок 1.1 – Склад типової прес-форми

Якщо виріб має декілька переходів за висотою або досить складну конфігурацію, застосовують верхні або нижні складові пуансони з кількома рухомими частинами. Їх кількість відповідає числу переходів за висотою пресування. Щоб забезпечити принцип рівності ступеня обтискання для всіх переходів, окремі елементи пуансона встановлюються на різній висоті.

1.2 Робота прес-форми

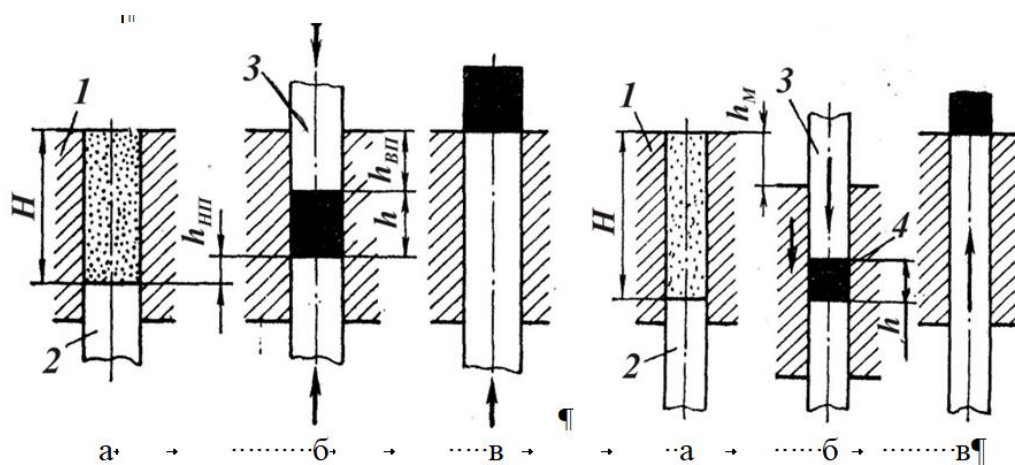
Однобічне пресування використовують у тих випадках, коли відношенням висоти до діаметра пресовки становить не більше 1,5...2,0 (рис. 1.2) [1, 5, 6].



1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – пресовка; 4 - підставка

Рисунок 1.2 –Прес-форма однобічного пресування

Якщо висота перевищує діаметр виробу у 2 і більше рази, використовується двобічне пресування. При цьому пресують і верхній, і нижній пуансони одночасно. При двобічному пресуванні у прес-формі може використовуватися рухома або нерухома матриця. (рис. 1.3) [2, 3, 7, 8].



1 - матриця; 2 - нижній пуансон; 3 - верхній пуансон; 4 - пресовка

а – матриця заповнюється порошком; б – процес пресування; в – пресовка виштовхується з матриці

Рисунок 1.3 – Двобічне пресування з нерухомою (ліворуч) і рухомою матрицею (праворуч)

При пресуванні з *нерухомою* матрицею порошок спочатку заповнює її на висоту H . Для пресування верхній пуансон переміщається на відстань $h_{в.п}$, і разом

з ним нижній - на відстань $h_{н,п}$ (рис. 1.3б, ліворуч). В результаті одночасного руху пуансонів ($h_{в,п} + h_{н,м}$) формується пресовка висотою h .

У рухому матрицю засипають порошок висотою H . Рух пресування починає верхній пуансон (рис. 1.3б, праворуч). Тому спочатку ущільнюються шари порошку безпосередньо під пуансоном. Сили тертя, що виникають у верхній частині матриці між стінками матриці і порошком, змушують її рухатися разом з пуансоном. Верхній пуансон продовжує рухатися, все більше ущільнюючи верхні шари порошку. Тим самим збільшуються сили тертя, які тягнуть матрицю. Спільне переміщення верхнього пуансона і матриці триває доти, поки не закінчиться процес ущільнення пресовки.

Пресовка висотою h , утворюється на торці нерухомого нижнього пуансона. За час пресування пуансон і рухома матриця здійснюють рух, як і пуансон у прес-формі з нерухомою матрицею: $h_m = h_{в,п} + h_{н,м}$.

1.3 Аналіз експлуатації та розрахунків прес-форми

Щоб забезпечити високу працездатність прес-форми та її здатність формувати високоякісні пресовки, необхідно її правильно спроектувати. Для цього звичайно проводиться попередній всебічний аналіз призначення та умов експлуатації прес-форми [2, 3, 7].

По-перше, треба отримати точні відомості про виріб, який передбачається виготовляти: про його форму і розміри з відповідними допусками; складність зовнішньої конфігурації; наявність або відсутність отворів. По-друге, треба знати призначення виробу, його матеріал з технологічними властивостями, необхідну щільність тощо.

На підставі отриманих відомостей обирається технологічна схема виготовлення пресовки. Щоб забезпечити ефективність праці прес-форми, треба

правильно спрямувати зусилля пресування (наприклад, для деталей, які мають вісь обертання - вздовж її осі), врахувати наявність і кількість переходів у напрямку пресування, виступів або западин на зовнішній поверхні і т.п.

Важливо передбачити наслідки наступного спікання пресовки, оскільки зміни її розмірів при спікання впливають на розміри деталей прес-форми.

Після визначення технологічної схеми виготовлення пресовки на підставі проведеного аналізу необхідно обрати матеріал для основних деталей прес-форми, оскільки після визначення їх розмірів треба перевірити їх на міцність і жорсткість.

Основні деталі прес-форми виготовляються з інструментальних сталей [2, 7, 9]. Для виготовлення прес-форм з коротким циклом експлуатації застосовуються порівняно дешеві інструментальні сталі (У10А, ХВГ, Х12М та ін.), Прес-форми для масового виробництва пресовок виготовляються з дорожчих, у тому числі швидкорізальних інструментальних сталей (Р6М5, 3Х2В8Ф та ін.). Для підвищення працездатності деталі з цих сталей можуть додатково піддаються гартуванню або нанесенню хіміко-термічних покриттів (боруванню, азотуванню, дифузійному хромуванню). У деяких випадках (наприклад, при дуже великих тисках пресування) для виготовлення матриць використовуються вставки з твердих сплавів (ВК8, ВК20, Т15К6 і т.п.). Рекомендації щодо властивостей і використання деяких конструкційних матеріалів для виготовлення тих чи інших елементів прес-форм наведені у додатку А.

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕС-ФОРМИ

2.1 Завдання на проектування

Залежно від вимог і міркувань конструктора деталі, яка буде формуватися у даній прес-формі, формується завдання на проектування. До нього входять перш за все знання про форму і розміри виробу з необхідними допусками. Зовнішня конфігурація виробу визначає, яка буде внутрішня конфігурація матриці. Поперечний переріз виробу впливає на вибір пуансона: чи буде він суцільним або складеним. Наявності у деталі отвору вимагає проектування стрижня.

Від співвідношення висоти і поперечного розміру виробу залежить така проблема конструкції прес-форми: чи буде у ній однобічне чи двобічне пресування.

Вибір режиму пресування залежить від хімічного складу і технологічних властивостей матеріалу заданого виробу, а також від його передбачуваної щільності. Параметри режиму пресування – температура, тиск – впливають на вибір матеріалу деталей прес-форми та на їх розміри. Якщо матеріал виробу - достатньо пластичні порошкові суміші, пресування проводиться при кімнатній температурі (тобто у холодному стані). Гаряче пресування використовується лише у особливих випадках, наприклад, при формуванні виробів з твердих сплавів.

При проектуванні прес-форм необхідно знати технологічні властивості матеріалу виробу. Наприклад, насипна густина порошку впливає на хід пуансона при пресуванні, а отже й на висоту матриці. Від коефіцієнта Пуассона матеріалу порошку залежить пружна післядія – явище збільшення розмірів пресовки після виштовхування з матриці. Його треба також враховувати при визначенні розмірів матриці.

Після холодного пресування обов'язковою операцією є спікання. Для більшості порошкових матеріалів розміри виробів при спіканні зменшуються на величину усадки (яка вимірюється у відсотках), що треба врахувати при визначенні розмірів основних деталей прес-форми. У довідниках [1, 2, 7] усадка наводиться у широких межах – від 5 до 15%. Для кожного виробу вона залежить головним чином від властивостей порошкової суміші, а також від температури спікання. Тому найчастіше для конкретного виробу величина усадки встановлюється експериментально на підставі попередніх експериментів.

Нижче як приклад наводиться завдання для проектування - вихідні дані виробу із залізного порошку. На їх підставі у подальшому проводитимуться кількісні розрахунки геометричних і міцнісних характеристик деталей прес-форми як ілюстрація методики розрахунків прес-форм, що розробляється.

Метою даної дипломної роботи є спроектувати прес-форму для виготовлення втулки із зовнішнім діаметром $D_n = 50^{+0,080}_{-0,119}$ мм, внутрішнім – $d_{вн} = 20^{+0,039}$ мм і висотою $h_{пр} = 40 \pm 0,050$ мм. Матеріал виробу – залізний порошок ПЖВ-1 (ГОСТ 9849-86 [10]). Запланована щільність – 80%, яка досягається при тиску пресування 800 МПа. При цьому насипна густина порошку становить $\rho_n = 2,3$ г/см³. а густина пресовки $\rho_{пр} = 7,1$ г/см³.

Робоча посадка пари «пуансон-матриця» типу Н7/г7 обирається попередньо згідно з рекомендаціями практичного досвіду. Оскільки співвідношення діаметра і висоти заданого виробу є близьким до 1, вважаємо, що виріб можна виготовляти однобічним холодним пресуванням.

Таким чином, на підставі літературних даних [1, 2, 7] проектування прес-форми для виготовлення заданого виробу із залізного порошку виходить з того, що пресування відбуватиметься при кімнатній температурі. Спікання пресовки буде проходить при температурі 800...900°C у захисній атмосфері (водень). Загалом тривалість спікання залежить від складу порошкового матеріалу, розмірів. Враховуючи відомі властивості залізного порошку ПЖВ-1, передбачається, що для даного виробу тривалість спікання становитиме не більше 60 хвилин.

Під час даного проектування величини пружної післядії і усадки вибираються у межах, рекомендованих літературними джерелами.

2.2 Геометричний розрахунок прес-форми

Геометричний розрахунок елементів прес-форми включає в себе визначення геометричних розмірів матриці, пуансона і стрижня, оскільки обраний як приклад виріб має отвір.

Визначення розмірів матриці передбачає розрахунок номінальних діаметра і висоти матриці. У загальних випадках величина номінального внутрішнього діаметра матриці D_m , мм, дорівнює:

$$D_m = D_n \pm IT/2 - l_{\text{пд}} \pm n_d + K, \quad (2.1)$$

де D_n – номінальний розмір виробу, що пресується, мм; IT – поле допуску на номінальний розмір виробу, мм; $l_{\text{пд}}$ – розмір пружної післядії за діаметром після виштовхування, мм; n_d – розмір усадки виробу після спікання, мм; K – припуск на можливі наступні операції, які проводяться з метою уточнення розмірів виробу.

Знак «плюс-мінус» у формулі 2.1 ($D_n \pm IT/2$) фактично визначає мінімальний діаметр матриці на початку експлуатації (мінус) і її максимальний діаметр внаслідок зношування під час експлуатації (плюс), коли виріб починає виходити за межі встановленого конструктором поля допуску IT . Тому при первинному проектуванні для знаходження діаметра *нової матриці* D_m у формулі повинна використовуватися величина $(D_n - IT/2)$.

Величина збільшення розмірів пресовки після виштовхування її з матриці називається пружною післядією. Чим більше ступінь обтиску порошку і чим менше він пластичний, тим більше величина пружної післядії. Величина пружної

післядії може становити за діаметром від 2 до 3%, а у вертикальному напрямку - від 2,5 до 5%.

Зменшення розмірів сформованої пресовки при спіканні називається усадкою. Воно відбувається за рахунок зменшення об'єму відкритих пор і додаткового пластичного деформування частинок порошку. Величина усадки для залізних порошків за різних умов пресування і спікання може коливатися у межах від 5 до 12%.

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

З урахуванням вище зазначених міркувань (тобто те, що розраховується нова матриця; величин пружної післядії та усадки пресовки) розмір внутрішнього діаметра матриці у дані роботі знаходиться як:

$$d_m = D_n - IT/2 - I_{пд} + n_d + K. \quad (2.2)$$

Компоненти формули (2.2) мають такі величини: $D_n = 50$ мм; поле допуску $IT = es - ei = -0,080 - (-0,119) = 0,039$ мм; приймаємо пружну післядію 2,5%, тоді $I_{пд} = 50 \cdot 0,025 = 1,25$ мм, зсідання 8% і $n_d = 50 \cdot 0,08 = 4$ мм; припуск на наступні операції K беремо 0,3 мм.

У такому випадку діаметр матриці

$$d_m = 50 - 0,02 - 1,25 + 4 + 0,3 = 53,03 \text{ мм}. \quad (2.3)$$

Згідно з прийнятим основним відхиленням Н7 за допомогою ГОСТ 25347-82 [11] знаходимо граничні відхилення діаметра матриці: $D_m = 53,03^{+0,03}$ мм.

Повна висота матриці H_m складається з двох елементів:

$$H_m = H_{км} + l_k, \quad (2.4)$$

де $H_{км}$ — висота робочого каналу матриці, мм; l_k — конусна ділянка на вихідному кінці матриці, мм.

У свою чергу висота робочого каналу матриці $H_{\text{км}}$:

$$H_{\text{км}} = h_{\text{зав}} + h_{\text{в}} + h_{\text{н}}, \quad (2.5)$$

де $h_{\text{зав}}$ - висота завантажувальної камери, де відбувається стискання порошку, мм (рис. 2.1); $h_{\text{в}}$, $h_{\text{н}}$ – заходи у матрицю верхнього і нижнього пуансонів відповідно, мм.

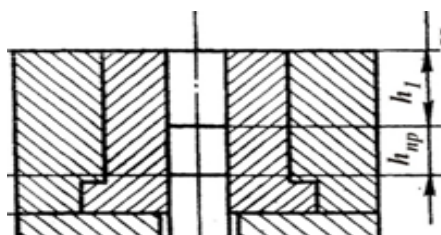


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку висоти $h_{\text{зав}}$ завантажувальної камери

За літературними даними величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів обираються звичайно у межах 10...15 мм для кожного.

Висота завантажувальної камери $h_{\text{зав}}$ складається з висоти виробу до спікання $h_{\text{пр}}$ і величини шляху пресування h_1 :

$$h_{\text{зав}} = h_{\text{пр}} + h_1. \quad (2.7)$$

Шлях пресування h_1 залежить від густини пресовки $\rho_{\text{пр}}$ та насипної щільності порошку $\rho_{\text{н}}$ і знаходиться таким чином:

$$h_1 = \frac{\rho_{\text{пр}}}{\rho_{\text{н}}} \cdot h_{\text{ном}}. \quad (2.8)$$

Висота виробу до спікання (пресовки) $h_{\text{пр}}$ залежить від висоти виробу за замовленням $h_{\text{ном}}$ і змін його розмірів у процесі виготовлення:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ном}} - l_{\text{пв}} + n_{\text{в}} + K, \quad (2.9)$$

де $h_{\text{ном}}$ – номінальна висота готового виробу, мм; $l_{\text{пв}}$ – величина пружної післядії у вертикальному напрямку, мм; $n_{\text{в}}$ – величина усадки виробу за висотою, мм; K – припуск на наступні операції.

Для попередження виникнення розшарування у пресовці після її виштовхування передбачається конусна ділянка на вихідному кінці матриці l_k (рис. 2.2).

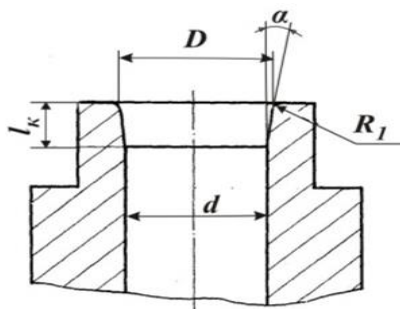


Рисунок 2.2 – Схема конусної ділянки матриці

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

Практичний розрахунок висоти матриці H_m починається з розрахунку висоти пресовки $h_{\text{пр}}$. Якщо діаметр і висота виробу приблизно однакові, можна вважати, що післядія та усадка по діаметру і висоті однакові. Тому при розрахунку висоти пресовки післядія (2,5%) $l_{\text{пв}} = 40 \cdot 0,025 = 1$ мм; усадка (8%) $n_d = 40 \cdot 0,08 = 3,2$ мм. Припуск на наступні операції також приймаємо $K = 0,3$ мм. У такому випадку

$$h_{\text{пр}} = 40 - 1 + 3,2 + 0,3 = 42,5 \text{ мм.} \quad (2.10)$$

Знаючи властивості матеріалу виробу, знаходимо шлях пресування:

$$,1/2,3 - 1) = 88,7 \text{ мм,} \quad (2.11)$$

а висота завантажувальної камери

$$h_{\text{зав}} = 42,5 + 88,7 = 131,2 \text{ мм.} \quad (2.12)$$

Для розрахунків приймаємо величину заходу у матрицю верхнього пуансону $h_{\text{в}} = 10$ мм, а захід нижнього пуансона $h_{\text{н}} = 0$, оскільки пресування однобічне. Довжину конусної ділянки $l_{\text{к}}$ можна також прийняти $l_{\text{к}} = 10$ мм. Об'єднуючи формули (2.4) і (2.5), визначаємо остаточну висоту матриці:

$$H_{\text{м}} = 131,2 + 10 + 0 + 10 \approx \mathbf{150_{-0,1} \text{ мм.}} \quad (2.13)$$

Номінальний діаметр пуансона дорівнює діаметру матриці: $d_{\text{п}} = 53,03$ мм, але для виготовлення і правильної роботи матриці необхідно визначити граничні відхилення, які забезпечать мінімальний та максимальний зазори пари “пуансон — матриця”, допустимі при експлуатації. У літературі [3, 4] мінімальний зазор рекомендується у межах 0,005...0,015 мм, а максимальний залежить від фракційного складу порошку виробу. 80% частинок залізного порошку за ГОСТ мають розмір більше 0,071 мм. Тому приймаємо для розрахунків $S_{\text{min}} = 0,005$ мм, а 0,065 мм. Тоді верхнє і нижнє граничні відхилення діаметра пуансона знаходяться за формулами:

$$es = EI - S_{\text{min}} = 0 - 0,005 = -0,005 \text{ мм} \quad (2.14)$$

$$ei = ES - S_{\text{max}} = 0,030 - 0,065 = -0,035 \text{ мм} \quad (2.15)$$

За ГОСТ ГОСТ 25347-82 [11] знаходимо найближчі до отриманих даним розрахунком граничні відхилення: $es = -0,010$ мм, $ei = -0,029$ мм, які відповідають основному відхиленню g_6 . Отже, діаметр пуансона має остаточний розмір $d_{\text{п}} = \mathbf{53,03_{-0,029}^{+0,010} \text{ мм.}}$

Висота пуансона за рекомендованою літературою формулою при однобічному пресуванні:

$$H_{\Pi} = H_{\text{м}} - h_{\text{пр}} - h_{\text{н}} + (5 \dots 10), \quad (2.16)$$

де всі параметри відомі, а величина (5...10 мм) додається, щоб гарантувати відстань між краєм матриці та кріпленням пуансона.

У такому випадку висота пуансона

$$H_{\Pi} = 150 - 42,5 - 0 + 5,5 = \mathbf{113} \text{ мм.} \quad (2.17)$$

Діаметр стрижня, який забезпечує виготовлення отвору у виробі, залежить від його номінального розміру та від зміни діаметра пресовки у процесі виготовлення (пружна післядія, усадка при спікання). Початковий діаметр приймається максимально можливим, тому що під час експлуатації стрижень зношується (діаметр зменшується). З тієї причини розрахунок ведеться за формулою, аналогічною формулі (2.2), але основні складові вводяться з протилежним знаком:

$$d_{\text{ст}} = d_{\text{вн}} \pm IT/2 + l_{\text{пд}} - n_{\text{д}} - K. \quad (2.18)$$

При аналогічних параметрах післядії (2,5%) $l_{\text{пв}} = 20 \cdot 0,025 = 0,5$ мм; усадка $d_{\text{д}} = 20 \cdot 0,08 = 1,6$ мм, поле допуску $IT = 0,039$ мм і $K = 0,3$ мм знаходимо відповідно максимально або мінімально допустимий діаметр стрижня:

$$d_{\text{ст}}^{\text{max}} = 20 + 0,039 + 0,5 - 1,6 - 0,3 = 18,639 \text{ мм,} \quad (2.19)$$

$$d_{\text{ст}}^{\text{min}} = 20 + 0 + 0,5 - 1,6 - 0,3 = 18,6 \text{ мм.} \quad (2.20)$$

Тобто для номінального діаметра стрижня 18,6 мм отримані граничні відхилення становлять $es = +0,039$ мм і $ei = 0$ мм. Після узгодження з ГОСТ

ГОСТ 25347-82 [11] стрижень рекомендується виготовляти діаметром $18,6^{+0,036}$ (основне відхилення p7).

2.3 Розрахунок елементів прес-форми на міцність

Метою даного розділу є визначення зовнішнього діаметра матриці за умови її міцності та перевірка матриці й пуансона на міцність і жорсткість.

При розрахунках на міцність використовуються всі попередні вихідні дані (підрозділ 2.1), а також геометричні розміри основних елементів прес-форми, отримані у підрозділі 2.2. Останні можна брати з певними спрощеннями (округленням), оскільки це не вплине на остаточний результат розрахунків: внутрішній діаметр матриці та зовнішній діаметр пуансона прийняти однаковими – 53 мм, внутрішній діаметр пуансона – 20 мм, довжину пуансона – 113 мм. За підрозділом 2.1 тиск пресування становить 800 МПа. Згідно з ГОСТ 9849-86 [10] коефіцієнт Пуассона залізних порошків $\nu = 0,26$.

Згідно з літературними даними [4,7], які наведені у додатку А, в умовах холодного пресування для матриць, пуансонів і стрижнів підвищеної зносостійкості при високих навантаженнях можна використовувати сталь 7Х3 (ГОСТ 2590-2000 [12]) Вона має наступні характеристики: границі міцності при розтягу $\sigma_b = 1320$ МПа, при стисканні $\sigma_b^{ст} = 3000$ МПа. Коефіцієнт Пуассона для всіх сталей практично однаковий $\nu = 0,28$.

За емпіричною формулою [3, 7] зовнішній діаметр D_2 циліндричної матриці

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{([\sigma] + p\nu_c)/([\sigma] - p\nu_c)}, \quad (2.21)$$

де D_1 – номінальний внутрішній діаметр матриці, мм; $[\sigma]$ – допустиме напруження на розтяг матеріалу матриці (сталі 7Х3), МПа; p – тиск пресування, МПа; ν_c – коефіцієнт Пуассона матеріалу матриці (сталі 7Х3).

Номінальний діаметр матриці, тиск пресування і коефіцієнт Пуассона сталі відомі. Допустиме напруження для сталі, обраної для виготовлення матриці, знаходиться через запас міцності. Рекомендований літературою коефіцієнт запасу міцності $n = 2 \dots 3$. Виходячи з призначення прес-форми і для забезпечення тривалого терміну експлуатації, обираємо коефіцієнт запасу міцності $n = 3$; тоді $[\sigma] = \sigma_b / n = 1320 / 3 = 440$ МПа. За формулою (2.21) знаходимо попередню величину зовнішнього діаметра матриці:

$$D_2 = 53 \cdot \sqrt{\frac{440 + 800 \cdot 0,28}{440 - 800 \cdot 0,28}} = 92,75 \text{ мм.} \quad (2.22)$$

Але літературні джерела [2, 3, 6] рекомендують зробити додаткову перевірку. За емпіричною умовою, враховуючи бічний тиск p_b , що виникає при пресуванні, приймаємо: $D_2 / D_1 = 2$ при бічному тиску $p_b \leq 200$ МПа і $D_2 / D_1 = 3$ при бічному тиску $p_b > 200$ МПа.

Бічний тиск знаходимо за формулою:

$$p_b = \frac{p \cdot \nu}{1 - \nu} \quad (2.23)$$

де p – тиск пресування, МПа; ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу виробу.

$$p_b = \frac{800 \cdot 0,26}{1 - 0,26} = 280 \text{ МПа.} \quad (2.24)$$

З урахуванням згаданої вище умови, встановлюємо зовнішній діаметр матриці $D_2 = 53 \cdot 3 \approx 160$ мм.

За встановленим діаметром D_2 треба перевірити стінку матриці на жорсткість. Умова достатньої жорсткості: відносна деформація стінки ε не повинна перевищувати 0,2%.

Відносна деформація стінки ε , %:

$$\varepsilon = \frac{p_b}{E} \cdot \left[\frac{D_2^2 + D_1^2}{D_2^2 - D_1^2} + \nu_c \right] 100\%, \quad (2.25)$$

де p_b – бічний тиск, Па; E – модуль поздовжньої пружності, Па (практично для всіх сталей $E = 215$ ГПа).

Розрахункова величина відносної деформації стінки

$$\varepsilon = \frac{280 \cdot 10^6}{215 \cdot 10^9} \cdot \left[\frac{160^2 + 53^2}{160^2 - 53^2} + 0,28 \right] 100\% = 0,195\%. \quad (2.26)$$

Оскільки отримана величина деформації менше допустимої, зовнішній діаметр матриці $D_2 = 160$ мм встановлений правильно. За ГОСТ 25347-82 [5] згідно з прийнятим основним відхиленням Н7 знаходимо граничне відхилення для $D_2 = 160^{+0,040}$ мм.

Пуансон перевіряється на міцність при стискання і на стійкість при повздовжньому згині.

Умова міцності пуансона при стисканні [3, 7, 13]: стискальне напруження у поперечному перерізі пуансона $\sigma_{ст}$ має бути менше напруження, допустимого для матеріалу пуансона при стисканні $[\sigma_{ст}]$:

$$\sigma_{ст} = P/S = k p \cdot S/S = k p \text{ (МПа)} \leq [\sigma_{ст}], \quad (2.27)$$

де P – діюче зусилля пресування, Н; S – площа найменшого поперечного перерізу пуансона, м²; k – коефіцієнт запасу зусилля пресування (звичайно $k = 1,25 \dots 1,40$).

У даному випадку це означає, що діюче стискальне напруження становить $\sigma_{ст} = k \cdot p \approx 1,25 \cdot 800 = 1000 \text{ МПа}$. Для матеріалу пуансона — сталі 7Х3 — при обраному коефіцієнті запасу міцності $n = 3$ допустиме напруження при стисканні також становить $[\sigma_{ст}] = 1000 \text{ МПа}$. Порівнюючи наведені значення напружень, можна зробити висновок, пуансон витримує навантаження стискання.

Для перевірки пуансона на поздовжній згин [7, 13] треба знайти критичне навантаження при поздовжньому згині при його визначених розмірах. Умова стійкості пуансона за цих умов полягає у тому, що діюче зусилля пресування P не повинно перевищувати критичне навантаження $P_{кр}$ при поздовжньому згині.

Критичне навантаження при поздовжньому згині:

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 EI_{\Pi}}{l_{\Pi}^2}, \quad (2.28)$$

де I_{Π} — осьовий момент інерції поперечного перерізу пуансона, м^4 ; l_{Π} — максимальна довжина вільної частини пуансона, м .

У формулі (2.28) серед інших величин невідомий осьовий момент інерції поперечного перерізу пуансона. Поперечний переріз пуансона становить коло діаметром D з концентричним отвором діаметром d . У такому випадку осьовий момент інерції дорівнює:

$$I_{\Pi} = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}. \quad (2.29)$$

Чисельний розрахунок дає наступний результат:

$$I_{\Pi} = \frac{3,14 \cdot (53^4 - 20^4) \cdot 10^{-12}}{64} = 0,387 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4. \quad (2.30)$$

Підставляючи відомі та знайдені величини у формулу (2.28), отримуємо величину критичного навантаження:

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 215 \cdot 10^9 \cdot 0,387 \cdot 10^{-6}}{113^2 \cdot 10^{-6}} = 0,128 \cdot 10^9 = 128 \text{ МН} \quad (2.31)$$

Для порівняння знаходимо діюче зусилля пресування:

$$P = k \cdot p \cdot S. \quad (2.32)$$

Для кола з концентричним отвором

$$S = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}. \quad (2.33)$$

Об'єднуючи формули (2.32) і (2.33) та підставляючи числові значення, отримуємо:

$$P = \cdot \frac{1,2 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (53^2 - 20^2) \cdot 10^{-6}}{4} = 1,811 \cdot 10^6 = 1,811 \text{ МН}. \quad (2.34)$$

Порівняння зусилля пресування P з критичним навантаженням при поздовжньому згині $P_{кр}$, можна зробити висновок, що пуансон має достатній запас опору поздовжньому згину.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ У ПОРОШКОВІЙ МЕТУЛРГІЇ

При проведенні робіт, пов'язаних з пресуванням металевих порошків, крім загальних правил охорони праці та техніки безпеки, необхідно дотримуватися наступних правил, зумовлених специфікою виробництва: шкідливий фізіологічний вплив на людину металевих порошків і пилу, що утворюється, та значного шуму від роботи відповідного обладнання; вибухонебезпечність і пірофорність деяких металевих порошків, тощо.

1. При використанні порошків, особливо схильних до самозаймання, треба забезпечувати їх зберігання у робочому приміщенні у герметично закритих ємностях, а в особливо небезпечних випадках – під захистом інертних газів.

2. У місцях, де використовуються живильники, дозатори, завантажувально-розвантажувальні вузли, необхідно використовувати герметизоване обладнання. Для боротьби з запиленням робочого місця необхідно додатково використовувати місцеву витяжну вентиляцію.

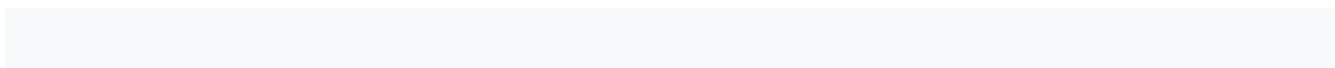
3. Рівень шуму у робочому приміщенні не повинен перевищувати 75...85 дБ. Для зниження шуму бажано обладнання-джерело шуму встановлювати на вібропоглинальну основу, окремі з'єднувальні елементи виготовляти з гнучких вібропоглинальних матеріалів - гумових або полімерних.

4. Щоб запобігти утворенню шкідливих для здоров'я людини пилоподібних газових сумішей (аерозолей), необхідно встановлювати у приміщеннях потужну витяжну вентиляцію. Повітря у такому приміщенні повинно обмінюватися не менше 5 разів за годину.

5. При виконанні у приміщенні особливо небезпечних робіт необхідно використовувати засоби індивідуального захисту – респіратори, протигази, рукавиці, спецодяг тощо.

6. При використанні у виробництві високоактивних тонкодисперсних порошків виникає значна пожежо- та вибухонебезпека. Металевий пил може осідати на стінах приміщення, на технологічному обладнанні. Щоб запобігти його займанню, принаймні один раз за зміну необхідно видаляти пил зі стін, обладнання та інших робочих поверхонь.

7. Кожний робітник повинен періодично проходити належний інструктаж з техніки безпеки. У будь-якому випадку неприпустима самотійна робота без знання запобіжних заходів та безпечних прийомів праці.



ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз умов експлуатації основних формотвірних деталей прес-форм для виготовлення виробів із залізних порошків: можливий тиск пресування, необхідні зазори між матрицею і пуансоном для забезпечення тривалої працездатності, технологічні властивості порошків і т.п.
2. Розглянута і сформована послідовність розрахунків геометричних розмірів елементів прес-форми.
3. На підставі літературних даних сформована послідовність розрахунків на міцність і жорсткість розмірів основних деталей прес-форми.
4. Підібрані матеріали для деталей прес-форми, які забезпечують їх міцність і жорсткість.
5. Проведені геометричні і міцнісні розрахунки деталей прес-форми для виготовлення деталі-прикладу із заданими розмірами з певного залізного порошку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. Schatt, W.; Wieters, K.-P.; Kieback, B.: Pulvermetallurgie - Technologie und Werkstoffe; Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2007. 547 S.
- 3 Dobrzanski L.A. Fundamentals and Case Studies.IntechOpen. [eBook-PDF] 2017. 394 p. URL: <https://www.perlego.com/book/2024509/powder-metallurgy-fundamentals-and-case-studies-pdf>
4. Коцюба А.А., Бычков А.С., Нечипоренко О.Ю., Лавренко И.Г. Порошковые материалы для авиационной и ракетно-космической техники. К.: КВИЦ, 2016. 304 с.
5. Katsuyoshi Kondoh. Powder Metallurgy. Rijeka: InTech, 2012. 132 p.
6. Volker A. Powder Metallurgy Solutions. Wuppertal: Academia, 2016. 108 p.
7. Баглюк Г.А. Позняк Л.А. Порошковые износостойкие материалы на основе железа. *Порошковая металлургия*. 2001. № 1/2. С. 44 - 52.
8. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2017.-336 с.
9. Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Волчок І.П., Шейко С.П. Спеціальні конструкційні матеріали: підручник. – Запоріжжя: «ВАЛПІС-ПОЛІГРАФ», 2010. 536 с.
10. ГОСТ 9849-86. Порошок железный. Технические условия. [Дата введения 01.07.1987]. М.: изд. стандартов, 1999, 9 с.
- ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. [Введен в действие 01.01.1990]. М.: изд. стандартов, 1990. 53 с.

ГОСТ 5950-2000 Прутки, полосы и мотки из инструментальной стали. Общие технические условия. [Введен в действие 2002-01-01]. М.: Стандартинформ, 2002.

Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів / за ред. Г.С.Писаренка. К.: Вища шк., 2004. 655 с.

. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник, Дніпро: НГУ, 2014. – 271 с.

Таблиця А.1 - Матеріали для виготовлення деталей прес-форм

Марка сталі	Стан використання	Границя міцності на розтяг σ_B , МПа	Границя міцності при стисканні σ_B^{CT} МПа	Використання
9ХС	У стані постачання	790	3200	Матриці, пуансони, стрижні підвищеної зносостійкості
ХВГ	У гарячекатаному стані	760	2900	Матриці, пуансони, стрижні для холодного пресування
5ХНМ	Гартування + відпускання 550°C	1350	3500	Матриці, пуансони, стрижні помірної теплостійкості
7Х3	Гартування + відпускання 500°C	1320	3000	Теплостійкі матриці, пуансони при великих навантаженнях
Х12	Гартування + відпускання 500°C	1850	4100	Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях
Х12Ф1	Гартування + відпускання 500°C	2200	4200	Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях; стійкі проти зношування
3Х2В8Ф	Гартування + відпускання 600°C	1720	3900	Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях; стійкі проти зношування
Р6М5	Гартування за спеціальним режимом	3200	4700	Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях; висока зносо- і теплостійкість
Твердий сплав ВК20	У стані постачання	2200	3400	Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях; висока зносо- і теплостійкість