Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему **ПРОЄКТУВАННЯ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З МІДНИХ ПОРОШКІВ**
(назва теми)

Виконала: студентка 4 курсу, групи БАД210

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Композиційні та порошкові матеріали, покриття

Краснопольська К.О.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник Плескач В.М.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент Вінніченко В.С.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2024 р.

Форма № 25

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
«_03_»_____05_____20_24_року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
КРАСНОПОЛЬСЬКІЙ Крістіні Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)_Проєктування прес-форм для виготовлення виробів з мідних 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 « 03»_05__2024__р., № 186_
2. Строк подання студентом проекту (роботи)_____
3. Вихідні дані до проекту (роботи) спроєктувати прес-форму для виготовлення виробу -циліндрична втулка з зовнішнім діаметром $D_н$ = 100 мм, внутрішнім – $d_{вн}$ = 30 мм і висотою $h_{пр}$ = 90 мм з мідного порошку ПМС-В._____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити:_види прес-форм; розрахунок геометричних розмірів елементів прес-форми; перевірка їх на міцність_____
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентація_____

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Плескач В.М., доцент		
2	Плескач В.М., доцент		
3	Плескач В.М., доцент		
Нормоконтроль	Савченко В.О., доцент		

7. Дата видачі завдання «_____» _____20___року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ п.п.	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, розділ 1	10.05.2024	
2	Розділ2	24.05.2024	
3	Розділ 3, презентація	10.06.2024	
4	Попередній захист	14.06.2024	

Студент _____ Крістіна КРАСНОПОЛЬСЬКА
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____ Володимир ПЛЕСКАЧ
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи бакалавра «Проєктування прес-форм для виготовлення виробів з мідних порошків» має обсяг 33 с., 5 рисунків, 1 таблицю, 1 додаток.

У пояснювальній запис наведений аналіз типової конструкції та роботи прес-форм для виробництва деталей з металевих порошків. Наведений порядок розрахунку формотвірних деталей прес-форми з метою визначення їх розмірів і забезпечення міцності. З урахуванням особливостей пресування виробів з міднх порошків наведений приклад розрахунку прес-форми за розмірами конкретного виробу.

МІДНИЙ ПОРОШОК, ПРЕСУВАННЯ, СПІКАННЯ, ПРЕС-ФОРМА, МАТРИЦЯ, ПУАНСОН

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Конструкція прес-форм для пресування	8
1.1Прес-форми:класифікаціяі конструкція	8
1.2 Робота прес-форм різного призначення	9
1.3 Технологічна схема отримання якісного виробу	11
2 Вихідні дані прєктування елементів прес-форми	14
2.1 Аналіз вихідних даних та матеріал прес-форм	14
2.2 Матеріал виробу	14
2.3 Вихідні дані для розрахунку прикладу	16
3 Визначення розмірів основних деталей прес-форм	19
3.1 Розрахунок геометричних розмірів деталей прес-форм	19
3.2 Розрахунок деталей прес-форм на міцність	24
Висновки	30
Перелік посилань	31
Додаток А. Матеріали для виготовлення деталей прес-форм	33

ВСТУП

Порошкова металургія як окрема технологія з’явилася у XIX столітті, але її активний розвиток почався фактично з середини минулого століття. Сьогодні вона стала одним з основних напрямків ефективного розвитку промислового виробництва.

Порошкова металургія – дуже економічний спосіб виготовлення виробів. Вона дозволяє виготовляти вироби з мінімальними відходами у порівнянні з традиційними технологіями (ливарне виробництво, оброблення металів тиском, механічне оброблення), оскільки виготовленні вироби мають розміри, максимально наближені до остаточних. Крім того, вона надає можливість отримати нові матеріали з властивостями, які неможливо досягти за допомогою звичайних металургійних процесів (наприклад, тверді сплави, антифрикційні та електротехнічні матеріали на основі залізних, мідних, вольфрамових порошків, графіту тощо) [1].

Найбільшу частку продукції з порошкових матеріалів (до 85% за масою) [2, 3] становлять порівняно невеликі вироби машинобудівного призначення (шестерні, кільця, підшипники ковзання, диски і т. п.). Такі деталі виготовляються головним чином традиційним методом - пресуванням. Їх виробництво у світі сильно залежить від основного споживачів, зокрема автомобільної промисловості. Так, сумарне використання порошкових виробів в автомобілі сьогодні в середньому досягає 21 кг [4]. Проте за останні десятиріччя спостерігається стійке зростання виробництва порошкових матеріалів і деякими іншими галузями виробництва, особливо коли їх споживачами стала аерокосмічна промисловість.

При пресуванні основним обладнанням є гідравлічні преси, а основною оснасткою - прес-форма. Саме вона надає виробу необхідну конфігурацію і точність розмірів. Точність розмірів виробу залежить від того, наскільки точно і якісно спроєктована і виготовлена прес-форма. Робота прес-форми пов’язана з тим, що під час експлуатації вона повинна опиратися великому тиску і абразивній дії частинок порошку, тобто матеріал прес-форми повинен бути міцним і

зносостійким. Тому при проєктуванні прес-форм велика увага приділяється точності її розмірів і міцності.

Виходячи зі згаданого вище, перед даною дипломною роботою поставлена задача розробити технологію проєктування прес-форм для виготовлення виробів з мідних порошків. Така технологія залежить як від геометрії виробу, так і від технологічних властивостей порошку, у даному випадку мідного, а також від впливу технології виготовлення виробу на порошок.

Як ілюстрація і перевірка технології проєктування, що розробляється, у дипломній роботі наведені відповідні розрахунки прес-форми для певного виробу з мідного порошку.

РОЗДІЛ 1
КОНСТРУКЦІЯ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ

рес-форми: класифікація і конструкція

Прес-форми, що застосовуються в порошковій металургії, можуть бути класифіковані залежно від умов експлуатації [5-7]:

– стаціонарні або знімні – за умовами експлуатації;

- з об'ємним чи та ваговим дозуванням – залежно від способу заповнення порошком порожнини матриці;

- одно- або двобічного пресування – залежно від способу створення рівномірної щільності;

- з суцільною чи рознімною матрицею – залежно від складності виробу;

- одно- або багатогніздні – залежно від кількості формувальних гнізд;

- для неспеціалізованих чи спеціалізованих пресів – залежно від типу пресів, для яких вони призначені;

- для ручного, напівавтоматичного або автоматичного пресування – залежно від розміру виробничої партії.

Правильно спроєктована прес-форма має забезпечити:

- формування деталі заданих форм та розмірів;

- рівномірну щільність у всіх частинах виробу, що пресується;

- можливість найпростішого випресовування виробу;

- надійність, простоту, економічність і тривалість терміну служби конструкції в цілому.

Сучасні прес-форми мають значну кількість деталей, які поділяються на формотворні і технологічні.

До формувальних відносяться матриця, верхній пуансон і нижній пуансон (або підставка). Матриця забезпечує формування бічної поверхні пресовки та служить для розміщення засипки порошку, що пресується, або заготовки (виробу) при калібруванні. Верхній пуансон служить для формування верхньої поверхні

пресовки і передачі зусилля порошку або виробу, що калібрується. Нижній пуансон і підставка формують нижню поверхню пресовки і запобігають висипанню порошку або випаданню виробу при калібруванні.

Крім того, в прес-формах є різні технологічні та допоміжні деталі: напрямні колонки, втулки, упори, деталі кріплення, пружини тощо. На рис. 1.1 наведений загальний вигляд прес-форми.

Рисунок 1.1 - Загальний вигляд прес-форми

Цілком очевидна залежність конструкції прес форми від конфігурації і розміру деталі, що виготовляється. Її конфігурацію прагнуть максимально спростити. Число змін товщини по висоті у пресованої деталі має бути мінімальним, причому зазначені зміни повинні бути нерізкими. Щоб забезпечити довговічність елементів прес-форми, виріб рекомендується робити без вузьких і видовжених виступів або виїмок, без зворотної конусності, гострих кутів та інших форм, які призводять до ослаблення конструкція прес-форми.

1.2 Робота прес-форм різного призначення

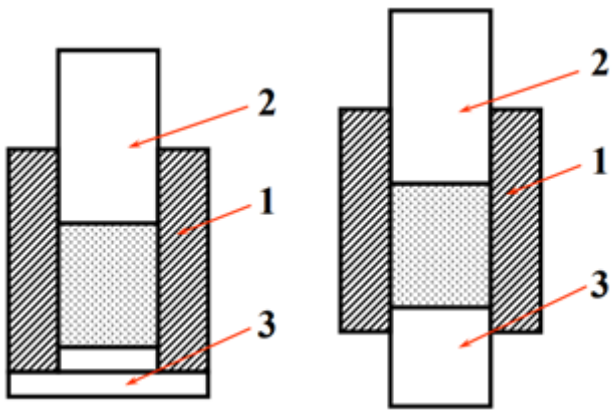
Суть процесу пресування полягає в деформуванні певного об’єму пухкого тіла порошку шляхом стискання. В результаті відбувається зменшення початкового об’єму і формування виробу (пресовки) заданої форми, розмірів і властивостей.

Залежно від властивостей матеріалу виробу і його призначення пресування може бути холодним і гарячим.

Холодне пресування здійснюється при кімнатній температурі. Таким чином виготовляється переважна кількість промислових виробів.

Гаряче пресування пресування металевого порошку – це пресування при температурі, що перевищує температуру рекристалізації основного компонента порошкової суміші. За своєю сутністю гаряче пресування є поєднанням процесу пресування і спікання і проводиться при температурі (0,7-0,9) від температури плавлення основного порошку. Воно дозволяє практично реалізувати збільшення пластичності порошку і надає можливість одержувати практично безпористі порошкові вироби, що особливо важливо у випадку крихких матеріалів і сполук типу карбідів, боридів. Проте порошки в процесі гарячого формування, як правило, вимагають захисту від окиснення, що важко здійснити конструктивно. Тому таке пресування використовується рідко.

Для того, щоб забезпечити рівномірну щільність виробу по всьому об’єму, залежно від відношення висоти до діаметра матриці використовують одно- і двобічне пресування (рис. 1.2) [2. 5, 8].



а б

а – однобічне, б – двобічне формування

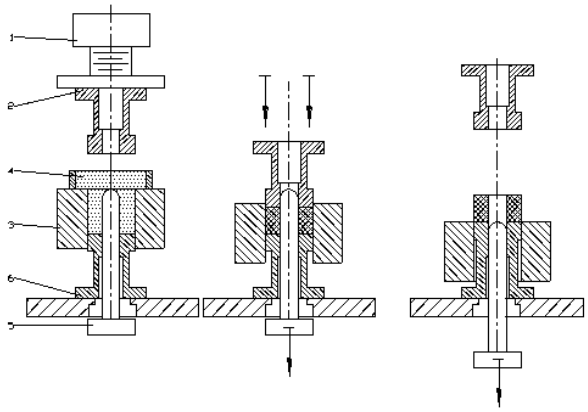
1 – матриця; 2 – верхній пуансон; 3 – нижній пуансон (підкладка)

Рисунок 1.2 – Схеми одно- і двобічного фомування

Вироби з відношенням висоти до діаметра матриці не більше 1,0…1,5 виготовляються однобічним пресуванням. При більшій висоті використовується двобічне пресування.

При двобічному пресуванні може використовуватися як нерухома, так і рухома (плавуча) матриці.

При використанні плавучої матриці верхній пуансон, переміщаючись униз, ущільнює сильніше шари порошку безпосередньо під пуансоном, ніж у протилежній частині виробу. У зв'язку з цим у верхній частині між стінками матриці та порошком виробу виникають значніші сили тертя, ніж у нижній частині. Ці сили тертя тягнуть матрицю за собою. Тоді разом з пуансоном починає рухати матриця аж до виштовхування виробу (рис. 1.3).



плунжер преса; 2 – верхній пуансон; 3 – матриця; 4 – живільник; 5 – стрижень; 6 – нижній пуансон

Рисунок 1.3 – Схема двобічного пресування з плавучою матрицею

Технологічна схема отримання якісного виробу

Технологічна схема виготовлення виробів з металевих порошків складається з трьох етапів: ущільнення порошкового матеріалу, виштовхування і спікання.

Параметри і результати кожного з них треба враховувати при проєктуванні нової прес-форми [2, 5, 6, 9].

В процесі ***ущільнення*** відбувається перетворення точкового контакту між частинками порошку у вигляді вільної засипки на контактну поверхню різної величини залежно від ступеня *питомого тиску*. Отриманий розмір контактної поверхні багато в чому визначає характеристики міцності пресовок.

Процес ущільнення порошків може бути умовно розділений на три стадії. На першій стадії ущільнення порошку відбувається структурна деформація: руйнування арок і містків, що утворюються при засипанні порошку в прес-форму, і заповнення пустот. Цей процес супроводжується відносним переміщенням частинок і щільнішим їх укладанням без їх помітного деформовування. На другій стадії ущільнення відбувається пружне і пластичне деформування або навіть крихке руйнування частинок. На третій стадії ущільнення супроводжується збільшенням контактної поверхні. При постійному зовнішньому тиску збільшення контактної поверхні супроводжується зменшенням напружень у місцях контакту за рахунок пластичного деформування частинок порошку.

З тиском пресування і тертям об стінки прес-форм також пов'язаний тиск ***виштовхування***. Це зумовлено тим, що при пресуванні зовнішній тиск врівноважується внутрішніми пружними силами, які діють у всі боки у напрямку, перпендикулярному напрямку пресування. Внутрішні пружні сили виникають через пружну деформацію частинок порошку і стінок прес-форми. Після зняття тиску пресування ці пружні сили звільняються, і під їх впливом пресовка прагне розширитися в усі боки. Але розширенню в радіальному напрямку перешкоджають стінки прес-форми, а в напрямку пресування – тертя об стінки матриці і зв'язки, що утворилися, між частинками порошку. У зв'язку з цим пресовка залишається щільно затисненою в матриці, і для виштовхування її з матриці потрібне значне зусилля, яке визначається тиском виштовхування.

Але після виштовхування пресовки з матриці внутрішні стиснені сили звільнюються і викликають збільшення її розмірів як по діаметру, так і по висоті.

Це явище називається *пружною післядією*, і її величину треба враховувати при проєктування прес-форми.

Спікання – це процес схоплювання між частинками порошку. При цьому відбувається перетворення пресовки, ущільненої з порошку,у виріб з властивостями, що наближаються до властивостей компактного матеріалу. Спікання проводиться шляхом нагрівання сформованої пресовки при заданій температурі у захисній атмосфері без розплавлення основного компонента.

Під час спікання відбувається видалення адсорбованих парів і газів, відновлення і дисоціація окисних плівок, дифузійне переміщення атомів, за рахунок якого зменшується об’єм пор, і між здеформованими частинками встановлюється безпосередній міжатомний контакт. Наслідком цього є зменшення розмірів – *усадка* виробу. Її величина суттєво впливає на визначення розмірів порожнини матриці.

РОЗДІЛ 2
ВИХІДНІ ДАНІ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕС-ФОРМИ

2.1 Аналіз вихідні даних та матеріал прес-форм

Завдання на проєктування прес-форм для виготовлення виробів з порошкових матеріалів складається з багатьох дуже різноманітних факторів.

Основні елементи завдання компонує конструктор виробу, що буде в ній виготовлятися. Залежно від призначення виробу, величини і характеру навантажень у процесі експлуатації формуються його орієнтовна конфігурація і розміри. Залежно від навантажень і умов експлуатації обирається матеріал виробу. Якщо він забезпечує міцність і умови експлуатації, визначаються остаточні розміри виробу з необхідними допусками.

Ці знання є основою для для проєктування основних елементів прес-форми. Зовнішня конфігурація виробу визначає поперечний переріз матриці. Залежно від складності поперечного перерізу виробу вирішується також конструкція пуансона – він може бути і суцільним, і складеним.

При наявності у деталі отвору (порожнини) необхідно подбати про проєктування стрижня (стрижнів).

На стійкість та особливо – на зносостікість впливає правильний вибір матеріалу прес-форми. Цей вибір крім іншого залежить від обсягу замовлення на прес-форму, що проєктується, оскільки вартість матеріалу впливає на загальні витрати на виготовлення прес-форми.

2.2. Матеріал виробу

Матеріал виробу суттєво впливає на технологічні параметри виготовлення виробу, які зі свого боку впливають на геометричні розміри елементів прес-форми

та на ті зусилля, які вони повинні витримувати при пресуванні.

Завданням на дипломне проєктування передбачається, що перс-форма призначена для виготовлення виробів з мідних порошків.

У більшості випадків мідний порошок на 99,5% складається з міді. Також до його складу можуть входити в невеликій кількості різного роду домішки інших металів. Найчастіше – це свинець, олово і залізо та інші (рис. 2.1).

Рисунок 2.1 – Мідний порошок

Мідні порошки, що виготовляються сучасною промисловістю, у більшості випадків не токсичні, не радіоактивні, не вибухонебезпечні і навіть не пожежонебезпечні. Тому сфери їх застосування досить широкі. Вони використовуються в автомобільній та авіаційній промисловостях, у приладобудуванні, а також у хімічній та лакофарбовій промисловостях та інших.

На сьогодні залежно від призначення промисловість випускає мідні порошки найрізноманітніших типів: стабілізовані і нестабілізовані, високо- та ультрадисперсні тощо. Кожний тип порошків випускається з дотримуванням певних стандартів і норм.

Особливо широко вироби з мідних порошків використовуються в електротехніці. Основні види мідних порошків для них виготовляються згідно з ГОСТ 4960-75 [10].

Стандарт передбачає найрізноманітніші характеристики порошків, починаючи від хімічного і гранулометричного складу, питомого електричного опору і аж до форми частинок порошу: вона повинна бути дендридною.

Вплив технологічних властивостей матеріалі виробу на проєктування прес-форми суттєвий і різнобічний. Зокрема температура і питомий тиск пресування впливають як на вибір матеріалу прес-форми, так і на їх розміри. Оскільки мідний порошок при пресуванні має достатню пластичність, вироби з нього виготовляються холодним пресуванням, тобто при кімнатній температурі.

Під час пресування насипна щільність порошку змінюється на густину пресовки. Це явище визначає хід пуансона, а отже й на висоту матриці. Від коефіцієнта Пуассона порошку залежить бічний тиск на стінки матриці, а від нього залежить міцність матриці і пружна післядія - збільшення розмірів пресовки після виштовхування з матриці. Величина пружної післядії має бути врахована при визначення розмірів матриці.

Наступна після пресування операція – спікання. Як правило, після спікання виріб зменшується у розмірах. Величина зменшення – усадка - залежить від виду порошку і вимірюється у відсотках. На величину усадки необхідно збільшити поперечний розмір (діаметр) матриці прес-форми. Згідно з довідниками [2, 3, 9] спікання мідних порошків проводиться при температурі 900…950^{0}С у захисній атмосфері (водень). Тривалість спікання залежить від складу порошкового матеріалу, розмірів виробу, бажаної щільності та інших технологічних чинників. Для мідних порошків вона звичайно не перевищує 50…60 хв.

Спікання супроводжується усадкою від 5 до 15%. При достатньо великому замовленні на прес-форму, що проєктується, величина усадки виробу при спіканні встановлюється експериментально.

2.3 Вихідні дані для розрахунку прикладу

Згідно з завданням для проєктування передбачається як приклад провести всі необхідні розрахунки геометричних і міцнісних характеристик деталей прес-форми

для конкретного виробу з мідного порошку. Ці розрахунки служитимуть ілюстрацією методики розрахунків прес-форм, що розробляється.

Передбачається, що розрахунки проводитимуться для виробу з мідного порошку марки ПМС-В , основні технологічні властивості якого наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості мідного порошку ПМС-В [10]

Характеристика	Показник
Хімічний склад: - мідь - домішки	 не менше 99, 5% решта
Гранулометричний склад: менше 0,045 мм понад 0,045 до 0,063 мм понад 0,063 до 0,100 мм понад 0,100 до 0,140 мм понад 0,140 до 0,240 мм понад 0,240 мм	 10…15% 15…25% 25…35% 35…40% 5…15% не більше 1%
Насипна щільність	2,3…2,7 г/см^3
При питомому тиску р = 600МПа: - щільність пресовки - густина пресовки	 83% 7,35 см^3

Відповідно до завдання прес-форма проєктується для виготовлення циліндричної втулки із зовнішнім діаметром $D_н = 100^{-0,720}_{-0,126}$ мм, і отвором діаметром – $d_{вн} = 30^{+0,033}$ мм. Висота втулки $h_{пр} = 90 \pm 0,050$ мм. За запланованою технологією пресування при питомому тиску 600 МПа досягається щільність 83%. Для розрахунків обрана насипна щільність порошку ($\rho_н$) 2,3 г/см^3. Тоді при щільності пресовки 83% досягається густина ($\rho_{пр}$) – 7,38 г/см^3.

Оскільки відношення діаметра заданого виробу до висоти менше одиниці, вважаємо, що виріб можна виготовити однобічним холодним пресуванням.

Щоб забезпечити необхідну щільність руху при пресуванні мідного порошку для п

а Таким чином, при проектуванні прес-форми з урахуванням технологічних властивостей мідного порошку заданого виробу необхідно використовувати и

«

згадувані вище величини питомого тиску, насипної щільності порошку і густини пресовки, пружної післядії та усадки відповідно до літературних джерел [2, 3, 9].

РОЗДІЛ 3
ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРЕС-ФОРМ

3.1 Розрахунок геометричних розмірів деталей прес-форм

Розрахунок геометричних розмірів деталей прес-форми передбачає визначення розмірів формотвірних елементів прес-форми. До них відносяться матриця і пуансон, а також стрижень, якщо виріб, що пресується, має отвір.

Для ***матриці*** розраховується номінальний розмір внутрішнього діаметра і висота камери матриці.

Номінальний розмір внутрішнього діаметра матриці $D_м$, мм, дорівнює [2, 5, 6]:

$$_м = D_н \pm IT/2 - l_{пд} \pm n_д + K, \qquad (3.1)$$

де $D_н$ − номінальний розмір виробу, що пресується, мм;

IT − поле допуску на номінальний розмір виробу, мм;

$_{пд}$ − розмір пружної післядії за діаметром після виштовхування, мм;

$_д$ − розмір усадки виробу після спікання, мм;

K − припуск на можливі наступні операції, які проводяться з метою уточнення розмірів виробу, мм.

Р
о
з
м
і
р

$$_м = D_н - IT/2 - l_{пд} + n_д + K. \qquad (3.2)$$

(

$_н$ ±IT/2) визначає наведені у розділі 2 розміри виробу, що виготовляється

Використовуючи наведені у розділі 2 розміри виробу, що виготовляється під час експлуатації прес-форми. Тобто нова матриця виготовляє вироби з розміром ($D_н$ - IT/2). З часом діаметр матриці збільшується, і її експлуатація припиняється, коли вироби досягають розміру ($D_н$ +IT/2). Оскільки при проєктуванні передбачається виготовлення *нової* матриці, розмір $D_м$ розраховуємо за формулою:

пружної післядії і усадки при спіканні, знаходимо значення елементів формули

Поле допуску IT = es — ei = -0,072 - (-0,126) = 0,054 мм; приймаємо пружну післядію 2,5%, тоді $l_{пд} = 100 \cdot 0,025 = 2,5$ мм, усадку - 6% і відповідно $n_д = 100 \cdot 0,06 = 6$ мм; припуск на наступні операції К приймаємо 0,3 мм.

Тоді номінальний розмір внутрішнього діаметра матриці $D_м$:

$$D_м = 100 – 0,027 – 2,5 + 6 = 0,3 = 103,773мм. \quad (3.3)$$

Встановлюємо для подальших розрахунків розмір внутрішнього діаметра матриці з граничним відхиленням згідно з ДСТУ ISO 286-2-2002 [11]: $D_м = 104^{+0,035}$ мм.

Висота камери матриці $H_м$ складається з двох частин:

$$H_м = H_{км} + l_к, \quad (3.4)$$

де $H_{км}$ – розмір робочого каналу матриці, мм;

$_к$ – конусна ділянка на виході з матриці, мм.

Розмір робочого каналу матриці залежить від розміру завантажувальної камери $h_{зав}$ і величини запланованого заходу у матрицю верхнього $h_в$ і нижнього $h_н$ пуансонів:

$$H_{км} = h_{зав} + h_в + h_н, \quad (3.5)$$

Розмір завантажувальної камери у свою чергу залежить від тих змін, які відбуваються в ній під час пресування, коли порошок перетворюється у досить щільну пресовку. Від зміни цих властивостей залежить висота пресовки до спікання

$$_{зав} = h_{пр} + h_1. \quad (3.6)$$

На висоту пресовки до спікання впливає задана висота виробу і зміни, які відбуваються з пресовкою при виштовхуванні та спіканні:

$$_{пр} = h_{ном} - l_{пв} \pm n_в + K, \quad (3.7)$$

де $h_{ном}$ – задана висота виробу, мм;

$_{пв}$ – величина пружної післядії у вертикальному напрямку, мм;

$_{в}$ – величина усадки виробу за висотою, мм;

К - припуск на наступні операції.

Шлях пресування залежить від співвідношення насипної щільності порошку $\rho_н$ і досягнутої густини пресовки $\rho_{пр}$:

$$_{пр} \cdot (\rho_{пр}/\rho_н - 1). \quad (3.8)$$

Величини заходу у матрицю верхнього $h_в$ і нижнього $h_н$ пуансонів рекомендується вибирати у межах 10…15 мм.

Висота заданого виробу $h_{ном}$ = 90 мм. Враховуючи прийняті раніше пружну післядію 2,5%, маємо $l_{пд} = 90 \cdot 0{,}025 = 2{,}25$ мм, усадку - 6% і відповідно $n_д = 90 \cdot 0{,}06 = 5{,}4$ мм. Припуск на наступні операції К залишаємо 0,3 мм. Тоді:

$$h_{пр} = 90 - 2{,}25 + 5{,}4 + 0{,}3 = 93{,}45 \text{мм}. \quad (3.9)$$

У свою чергу шлях пресування:

$$h = 93{,}45 \cdot (7{,}38/2{,}5 - 1) = 182{,}41 \text{ мм} \quad (3.10)$$

Приймаємо величину заходу верхнього пуансона $h_в$ = 10 мм. Захід нижнього пуансона $h_н$ = 0, оскільки пресування однобічне. Підсумовуючи отримані дані, знаходимо розмір робочого каналу матриці:

$$H_{км} = 93,45 + 182,41 + 10 + 0 = 285,86мм. \quad (3.11)$$

Щоб попередити розшарування пресовки після її виштовхування з матриці на кінцевій ділянці порожнини матриці передбачається конусна ділянка довжиною $l_к$ (рис. 3.1).

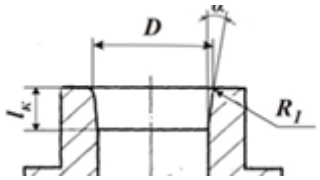


Рисунок 3.1 – Схема кінцевої ділянки матриці

Її довжина залежить від діаметра матриці і при куті розширення до 1^0 не перевищує 10 мм. За формулою (3.4) встановлюємо кількісну висоту камери матриці $H_м$:

$$H_м = 285,86 + 10 = 295,86 \text{ мм}. \quad (3.12)$$

З урахуванням граничних відхилень [11] визначаємо висоту камери матриці як $H_м = 296_{-0,50}$ мм.

Від розміру діаметра ***пуансона*** залежить успішна робота пари «пуансон-матриця». Вона забезпечується наявністю між ними належного зазору. На етапі проєктування виходять з того, що парі «пуансон-матриця» протягом експлуатації необхідно забезпечити певні мінімальний і максимальний зазори. За літературними даними [2, 5, 6] мінімальний зазор нової прес-форми має бути у межах 0,005...0,015 мм, а максимальний залежить від фракційного складу порошку виробу. Згідно з ГОСТ 4690-2009 [10] понад 80% частинок мідного порошку перевищують розмір 0,063 мм, тому для розрахунків як мінімальний зазор S_{min} треба взяти 0,005 мм, а як максимальний S_{max} – 0,060 мм.

Номінально діаметр пуансона співпадає з діаметром матриці – 104 мм. Для забезпечення обраних зазорів необхідно узгодити граничні відхилення матриці і

пуансона. Граничні відхилення матриці відомі (ES = 0,035 мм, EI = 0 мм), граничні відхилення пуансона знаходимо через зазори за формулами:

$$es = EI - S_{min} = 0 - 0{,}005 = -\,0{,}005 \text{ мм} \quad (3.13)$$

$$ei = ES - S_{max} = 0{,}035 - 0{,}060 = -\,0{,}025 \text{ мм} \quad (3.14)$$

За ДСТУ ISO 286-2-2002 [11] знаходимо найближчі до отриманих даним розрахунком граничні відхилення: es = - 0,012 мм, ei = - 0,027 мм. Вони відповідають основному відхиленню g6. Таким чином, діаметр пуансона має остаточний розмір $d_п = 104^{-0{,}012}_{-0{,}027}$ мм.

Висота пуансона знаходиться за простою формулою:

$$H_п = H_м - h_{пр} - h_н + (5\ldots10). \quad (3.15)$$

За попередніми розрахунками і попередніми даними величини всіх складників формули відомі. Величина (5…10 мм) – це відстань між краєм матриці та плитою пуансона, щоб не було співударяння.

Після підстановки висота пуансона становить:

$$H_п = 295 - 93{,}45 - 0 + 8{,}5 \approx 210 \text{ мм}. \quad (3.16)$$

У

з

а

д

а

н

о

м

у

$$d_{ст} = d_{вн} \pm IT/2 + l_{пд} - n_д – К. \quad (3.17)$$

Використовуючи прийняті раніше показники післядії і усадки, можна розрахувати

$$d_{ст}^{max} = 30 + 0{,}033 + 0{,}75 – 1{,}8 – 0{,}3 = 28{,}083 \text{ мм}, \quad (3.18)$$

$$d_{ст}^{min} = 30 + 0 + 0{,}75 – 1{,}8– 0{,}3 = 28{,}050 \text{ мм}. \quad (3.19)$$

Тобто, номінальний діаметр стрижня має бути 28 мм. Щоб отримати при виготовленні розміри, близькі до розрахункових, за допомогою ДСТУ ISO 286-2-2002 [11] знаходимо граничні відхилення es = +0,081 мм і ei = + 0,048 мм, і остаточно діаметр $d_п = 28^{+0,081}_{+0,048}$ мм (основне відхилення m8).

3.2 Розрахунок деталей прес-форм на міцність

Задача даного підрозділу полягає у визначенні зовнішнього розміру прес-форми, який забезпечить в умовах експлуатації достатню міцність і жорсткість.

Вихідними даними для розрахунків служать відомості, наведені у розділі 2, а також геометричні розміри, отримані розрахунками у підрозділі 3.1. Тому при розрахунках діаметри матриці і пуансона прийняті однаковими – 104 мм, діаметр отвору в пуансоні для проходження стрижня – 30 мм, довжина пуансона – 210 мм. Прес-форма розраховується на робочий тиск 600 МПа. При розрахунках будуть використовуватися довідкові дані: коефіцієнти Пуассона для сталей 0,28 і для

У додатку А наведені інструментальні сталі, які звичайно використовуються при виготовлені формотвірних деталей прес-форм. У зв'язку з тим, що умови експлуатації для прес-форми, що проєктується, достатньо помірковані, обираємо для наступних розрахунків сталь 9ХС.

Сталь 9ХС згідно з ГОСТ 5950-2000 [12] має такі характеристики: границя міцності при розягу $\sigma_в$ = 690 МПа, а при стисканні - $\sigma_в^{ст}$ = 3200 МПа.

Зовнішній діаметр циліндричної матриці D_2 звичайно знаходиться за емпіричною формулою [5, 6]:

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{([\sigma] + p\nu_c)/([\sigma] - p\nu_c)}, \quad (3.20)$$

де D_1 – номінальний внутрішній діаметр матриці, мм;

$[\sigma]$ – допустиме напруження на розтяг матеріалу матриці (сталі 9ХС), МПа;

p – питомий тиск пресування, МПа;

ν_c – коефіцієнт Пуассона сталей.

Для розрахунків за формулою відомі: діаметр матриці, тиск пресування і коефіцієнт Пуассона сталей. Необхідно знайти допустиме напруження для сталі 9ХС, обраної як матеріал матриці. Для стаціонарних прес-форм коефіцієнт запасу міцності обирається у межах n = 2…3. Якщо обрати коефіцієнт запасу міцності n = 3, то $[\sigma] = \sigma_в/n = 690/3 = 230$ МПа.

За формулою 3.20 попередній зовнішній діаметр матриці:

$$D_2 = 104 \cdot \sqrt{\frac{230+600 \cdot 0{,}28}{230-600 \cdot 0{,}28}} = 263 \text{ мм} \quad (3.21)$$

Деякі літературні джерела [5-7] рекомендують додатково зробити перевірку, враховуючи бічний тиск p_b, що виникає при пресуванні. Якщо бічний тиск не

перевищує 200 МПа, приймаємо $D_2/ D_1 = 2$, якщо перевищує - приймаємо $D_2/ D_1 = 3$.

Бічний тиск за заданих умов пресування знаходимо за формулою:

$$p_b = \frac{p \cdot \nu}{1-\nu} \tag{2.22}$$

де p – тиск пресування, МПа;

ν – коефіцієнт Пуассона мідного порошку.

Бічний тиск при пресуванні мідного порошку становить:

$$p_b = \frac{600 \cdot 0{,}31}{1-0{,}31} = 269 \text{ МПа}. \tag{2.23}$$

Оскільки бічний тиск перевищує 200 МПа, згідно зі згаданої вище умовою визначаємо зовнішній діаметр матиці $D_2 = 104 \cdot 3 = 312$ мм.

Перевірка на жорсткість проводиться для того, щоб встановити, наскільки деформується стінка матриці під дією бічного тиску і чи не пошкодить це якості виробів, що виготовляються. Вважається, що для надійної експлуатації прес-форми відносна деформація стінки ε не повинна перевищувати 0,2%.

Відносна деформація стінки матриці ε, %:

$$\varepsilon = \frac{p_b}{E} \cdot \left[\frac{D_2^2 + D_1^2}{D_2^2 - D_1^2} + \nu_c \right] 100\%, \tag{2.24}$$

де p_b – бічний тиск при пресуванні, Па;

E – модуль поздовжньої пружності сталей, Па (практично для всіх сталей E = 215 ГПа).

Розрахункова величина відносної деформації стінки матриці:

$$\varepsilon = \frac{296 \cdot 10^6}{215 \cdot 10^9} \cdot \left[\frac{312^2 + 104^2}{312^2 - 104^2} + 0{,}28 \right] 100\% = 0{,}191\%. \qquad (2.25)$$

Розрахунок показує, що умова жорсткості стінки виконана. З урахуванням необхідних граничних відхилень за ДСТУ ISO 286-2-2002 [11] встановлюємо остаточний діаметр зовнішньої стінки матриці $D_2 = 312^{+0,052}$ мм.

Пуансон необхідно перевірити на міцність при стискання та на стійкість при повздовжньому згині.

При стисканні умова міцності пуансона полягає у тому, стискальне напруження у поперечному перерізі пуансона $\sigma_{ст}$ повинно не перевищувати допустиме напруження при стисканні $[\sigma_{ст}]$ для матеріалу пуансона [6, 7, 13]:

$$\sigma_{ст} = P/S = k\ p \cdot S/S = k\ p\ (МПа) \leq [\sigma_{ст}], \qquad (3.26)$$

де P – діюче зусилля пресування, Н;

S – площа найменшого поперечного перерізу пуансона, $м^2$;

k – коефіцієнт запасу зусилля пресування (звичайно k = 1,25…1,40).

Якщо прийняти коефіцієнт запасу зусилля пресування k = 1,25, то діюче стискальне напруження у пуансоні становить $\sigma_{ст} = k\ p \approx 1{,}25 \cdot 600 = 750$ МПа. Для сталі 9ХС при коефіцієнті запасу міцності n = 3 допустиме напруження при стисканні становитиме $[\sigma_{ст}] = \sigma_в^{ст} / n = 3200/3 = 1067$ МПа. Порівняння діючого і допустимого напружень стискання показує, що пуансон витримує навантаження стискання.

Перевірки пуансона на поздовжній згин [13, 14] полягає утому, що треба порівняти діюче зусилля пресування P з критичним навантаженням на поздовжній згин $P_{кр}$, яке може витримати даний пуансон. Умова стійкості пуансона на поздовжній згин виконується тоді, коли діюче зусилля не перевищує критичне навантаження.

Діюче зусилля пресування знаходиться за формулою:

$$P = k\ p \cdot S. \qquad (3.27)$$

Для кола з концентричним отвором площа поперечного перерізу:

$$S = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}. \quad (3.28)$$

При об'єднанні формул формули (3.27) і (3.28) отримуємо числове значення зусилля пресування:

$$P = \cdot \frac{1.2 \cdot 600 \cdot 10^6 \cdot 3{,}14 \cdot (104^2 - 30^2) \cdot 10^{-6}}{4} = 5{,}611 \cdot 10^6 = 5{,}6 \text{ МН}. \quad (3.29)$$

Критичне навантаженні $P_{кр}$ при повздовжньому згині

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 E I_п}{l_п^2}, \quad (3.30)$$

де $I_п$ – осьовий момент інерції поперечного перерізу пуансона, м^4;

$l_п$ – максимальна довжина пуансона, м.

Щоб провести розрахунок за формулою (3.30), необхідно знайти осьовий момент інерції для поперечного перерізу пуансона. Поперечний переріз пуансона становить коло діаметром D з концентричним отвором діаметром d. У такому випадку осьовий момент інерції дорівнює:

$$I_п = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}. \quad (3.31)$$

Підставляючи числові значення, знаходимо величину осьового момент інерції для поперечного перерізу пуансона:

$$I_п = \frac{3{,}14\cdot(104^4-30^4)\cdot10^{-12}}{64} = 5{,}7\cdot10^{-6}\ м^4. \qquad (3.32)$$

Наступною дією за формулою (3.30) знаходимо величину критичного навантаженні $P_{кр}$:

$$P_{кр} = \frac{2\cdot\ 3{,}14^2\cdot215\cdot10^9\cdot5{,}7\cdot10^{-6}}{210^2\cdot10^{-6}} = 0{,}55\cdot10^9 = 550\ МН. \qquad (3.33)$$

Порівняння показує, що зусилля пресування P не перевищує критичне навантаженням при поздовжньому згині $P_{кр}$, отже можна зробити висновок, що пуансон має достатній запас опору поздовжньому згину.

ВИСНОВКИ

1.Проведений аналіз умов роботи основних прес-форм для виготовлення виробів з мідних порошків, основні технологічні характеристики як пресування, так і технологічні властивості мідних порошків.

2. На підставі літературних даних визначені вимоги і послідовність розрахунків розмірів основних деталей прес-форм і перевірка їх на міцність і жорсткість.

3. Для деталей прес-форми, обрані матеріали, які забезпечують їх тривалу працездатність.

4. За пропонованою технологією проведені геометричні розрахунки і розрахунки на міцність всіх деталей прес-форми для виготовлення деталі-прикладу з мідного порошку ПМС-В.

ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дорошкевич Е.А., Ильющенко А.Ф., Горохов В.М., Савич В.В. Состояние и перспективы развития порошковой металлургии// *Порошковая металлургия*. – 1998. – Вып. 21. – С. 5-9.

2. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / Федорченко И.Н. и др.; отв. ред. И.М.Федорченко. К.: Наук. думка, 1985. 624 с.

Левина Д. А., Чернышев Л.И., Н. Е. Федорова Н.Е.Порошковая металлургия Европы в 2025 г. – прогноз Европейской ассоциации порошковой металлургии // *Порошкова металургія*. – 2019. – № 1/2. – С. 155–160.

Wittaker D. Produktion of Structural PM Parts// International Powder Metallurgy Directory & Yearbook/ 11 th Edition – 2004/2005. – P. 31-47.

Сизоненко О. М., Івлієв А. І., Баглюк Г. А. Перспективні процеси виготовлення порошкових матеріалів: підручник. Миколаїв. НУК. 2014. – 374 с.

Дубовий О.М., Казимиренко Ю.О., Лебедєва Н.Ю., Самохін С.М. Інженерне матеріалознавство: підручник. Миколаїв: НУК, 2009. – 444 с.

7. Геворкян Е.С., Семченко Г.Д., Тимофеєва Л.А., Нерубацький В.П. Нові матеріали та технології їх отримання: підручник. Харків: Діса плюс, 2015. 344 с.

Кива Д. С., Бычков С.А., Нечипоренко О. Ю., Лавренко И. Г. Специальные технологиии и материалы порошковой металлургии. Киев : КВИЦ, 2017. – 661 с.

9. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2017.-336 с.

ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів [Чинний від 2004-10-1]. Київ: РВВ ДП «УкрНДНЦ», 2004. 43 с.

Friedrich Josef Esper. Pulvermetallurgie: das flexible und fortschrittliche Verfahren für wirtschaftliche und zuverlässige Bauteile. Renningen-Malmsheim: expert-Verl.- 1996.

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

14. Корнілов О.А. опір матеріалів: підручник. К.6 Логос, 2002. 562 с.

Werner Schatt, Klaus-Peter Wieters. Pulvermetallurgie. Technologien und Werkstoffe. Heidelberg: Springer Verlag, 2007. 552 S.

Janusz Konstanty. Teoretyczne podstawy procesów prasowania proszków/ Kraków: Wydawnictwa AGH, 2023. 110 s.

ДОДАТОК А

А.1 - Матеріали для виготовлення деталей прес-форм

Використання	Марка сталі	Стан використання	Твердість, HRC
Матриці, пуансони, стрижні простої конфігурації	У8А, У10А, 40Х, ХВГ	У стані постачання	41…55 41…55 45…50 41…55
Матриці, пуансони, стрижні помірної теплостійкості	5ХНМ, 40Х13, 9ХС	У гаряче-катаному стані	56…61 50…55 56…61
Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях	7Х3, Х12М, 12ХН3А	Гартування + відпускання	50…55 58…60 50…58
Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях, стійкі проти зношування	Х12Ф1, 3Х2В8В, Р6М5	Цементування Цементування Дифузійне хромування	55…58 57…60 60…61
Матриці, пуансони при великих навантаженнях з високою зносостійкістю	Твердий сплав ВК20	У стані постачання	60…63
Конструкційні деталі	40, 45, 40Х	У стані постачання	40…45