

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 ПОРОШКОВОЇ СТАЛІ**

(назва теми)

Виконав: студент 4 курсу, групи БАДз212сп

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Композиційні та порошкові матеріали, покриття

Мороз О.Г.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник Плескач В.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент Вінніченко В.С.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2025 р.

Форма № 25

Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Будівництва, архітектури та дизайнуКафедра Композиційних матеріалів, хімії та технологійСтупінь вищої освіти (освітній ступінь) бакалавратСпеціальність 132 Матеріалознавство

(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові матеріали,
покриття

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри КМХТ  (Мітяєв О.А.)« 28 » 04 2025 року**ЗАВДАННЯ****НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

МОРОЗУ Олександрю Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проектування прес-форм для виготовлення виробів з
порошкової сталікерівник проекту (роботи) Плескач Володимир Михайлович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)затверджені наказом вищого навчального закладу від « 09 » 04. 2025р., № 1612. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.06.2025 р.3. Вихідні дані до проекту (роботи) спроєкувати прес-форму для виготовлення
виробу - циліндрична втулка з зовнішнім діаметром $D_n = 48$ мм, внутрішнім – $d_{вн}$
ПК 10-644. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити: види прес-форм; розрахунок геометричних розмірів елементів прес-
форми; перевірка їх на міцність5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Розділ 1	Володимир Плескач	Віл	Віл
Розділ 2	Володимир Плескач	Віл	Віл
Розділ 3	Володимир Плескач	Віл	Віл
Нормоконтр.	Віра Савченко	СВШШ	СВШШ

7. Дата видачі завдання « 28 » 09 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ п.п.	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, розділ 1	23.05.2025	
2	Розділ 2	04.06.2025	
3	Розділ 3, презентація	13.06.2025	
4	Попередній захист	16.06.2025	

Студент



(підпис)

Олександр МОРОЗ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)



(підпис)

Володимир ПЛЕСКАЧ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи бакалавра «Проектування прес-форм для виготовлення виробів з порошкової сталі» має обсяг 32 с., 5 рисунків, 1 додаток.

У пояснювальній запис наведений аналіз типової конструкції і видів прес-форм для холодного пресування. Розглянуті особливості виготовлення порошкових виробів, які впливають на розміри елементів прес-форм. Для головних деталей прес-форм холодного пресування розроблена послідовність розрахунків розмірів з урахуванням їх достатньої міцності та довговічності. З метою перевірки запропонованої технології розрахунків наведений як приклад наведені розрахунки прес-форми за розмірами конкретного виробу з порошкової сталі.

ХОЛОДНЕ ПРЕСУВАННЯ, ПРЕС-ФОРМА, МАТРИЦЯ, ПУАНСОН,
ПОРОШКОВА СТАЛЬ

ЗМІСТ

Вступ	6
Оснастка для пресування	8
1.1 Конструкція і види прес-форм	8
1.2 Особливості роботи прес-форм	10
1.3 Отримання виробу пресуванням	12
2 Завдання на проєктування елементів прес-форм	15
2.1 Аналіз основних даних завдання	15
2.2 Властивості матеріалу виробу	16
2.3 Дані для розрахунку деталей прес-форми	18
3 Визначення розмірів основних деталей прес-форм	20
3.1 Визначення геометричних розмірів деталей прес-форми	20
3.2 Перевірка деталей прес-форми на міцність	25
Висновки	30
Перелік посилань	31
Додаток А. Сталі для виготовлення деталей прес-форм	32

ВСТУП

Порошкова металургія – наука і промисловість – становить основу одного з основних напрямків розвитку сучасних високоефективних виробничих технологій у розвинених країнах світу [1].

Технології порошкової металургії з їх надзвичайно широкими можливостями привели до здатності керувати властивостями нових конструкційних матеріалів. Створені такі нові конструкційні матеріали, які мають різко підвищені міцність, жароміцність, опір втомі, жорсткість. З'явилися також матеріали, в яких, крім механічних властивостей, можна у широких межах керувати теплофізичними, електричними, магнітними та іншими властивостями.

Порошкова металургія може успішно конкурувати з традиційними технологіями за такими головними напрямками:

- можливість виготовлення виробів, які не вимагають додаткового механічного оброблення;
- можливість отримувати такий хімічний склад виробів з унікальними властивостями, який неможливо отримати звичайними ливарними технологіями (наприклад, псевдосплави, дисперсійно зміцнювані сплави, пористі матеріали тощо).

Більше того, порошкові вироби одного хімічного складу, виготовлені за різними режимами технологічних процесів, можуть мати різні властивості завдяки тим фізичним і хімічним процесам, які відбуваються при перетворенні порошоків у готові вироби.

На сьогодні у порошковій металургії існує багато способів формування виробів, різноманітних за розмірами, пористістю, властивостями. Проте більша частина цих виробів (за масою) виготовляється пресуванням. Основний інструмент при пресуванні – прес-форма. Під час роботи елементи прес-форми піддаються значному тиску, абразивній дії порошоків виробу, що призводить до їх поступового зношування. Для отримання високоякісних виробів пресуванням,

треба використовувати правильно спроектовані прес-форми. Саме вирішення цієї проблеми для виготовлення виробів з порошкових сталей є змістом даної дипломної роботи.

Щоб перевірити послідовність проектування прес-форм, запропоновану у даній дипломній роботі, на всіх етапах проектування наведені розрахунки прес-форми для виготовлення конкретного виробу з порошкової сталі певної марки.

РОЗДІЛ 1 ОСНАСТКА ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ

1.1 Конструкція і види прес-форм

Залежно від особливостей конструкції виробу, властивостей порошку, з якого він виготовляється, а також передбачуваної технології виготовлення, застосовуються різні методи пресування. Від цих факторів залежить вид і конструкційні особливості прес-форми, необхідної у кожному конкретному випадку [2-5].

Залежно від експлуатаційних особливостей та їхнього зв'язку з пресом прес-форми поділяються на стаціонарні та знімні. Деякі особливості конструкції прес-форм залежать від способу заповнення порожнини матриці – вагового чи об'ємного, а отже з використанням того чи іншого способу живлення. Залежно від співвідношення висоти і поперечного розміру пресовки прес-форми поділяються на призначені для одно- або двобічного пресування. Матриці прес-форм за конструкцією можуть бути суцільні або складені, а за кількістю виробів, що формуються одночасно, - на одно- і багатогніздні. За кількістю шарів порошку у виробі, що пресується, прес-форми поділяються на одно- або багат шарові. Конструкція прес-форми залежить також від способу контролю за ходом пресування – до упору чи за остаточним тиском.

На конструкцію прес-форм впливає вид пресів, на яких вони використовуються: спеціалізованих, тобто призначених для виготовлення одного типу виробів, і універсальних, на яких можна порівняно просто переходити від виготовлення одного виробу до іншого.

До прес-форм ставляться високі вимоги. Перш за все прес-форма має забезпечити високу точність і якість виробу. Тому точність виготовлення деталей прес-форми має бути на клас вище точності виробу, що у ній виготовляється (звичайно 6...7-й квалітети). Шорсткість пресованих виробів залежить від шорсткості робочих поверхонь деталей прес-форм. Зовнішні поверхні порошкових виробів мають практично ту ж шорсткість, що й робочі

поверхні матриці, пуансона, стрижнів та інших елементів прес-форми. Всі вони повинні мати достатні міцність і жорсткість, оскільки при пресуванні порошків застосовуються високі тиски (500...1000 МПа).

Всі деталі, з яких складаються прес-форми, поділяються за своїм призначенням на формотворні і технологічні.

Формотворні елементи при пресуванні контактують з матеріалом виробу і створюють його конфігурацію. Це перш за все матриця, верхній і нижній пуансони і також стрижень, якщо виріб має отвір. Матриця формує бічну поверхню майбутньої пресовки. У її порожнину засипається засипка порошку, достатня за об'ємом для виготовлення виробу. Верхня поверхня матриці узгоджується з роботою живильника. Пуансони (верхній і нижні) передають порошку необхідне зусилля пресування і формують верхню і нижню поверхні виробу. При виготовленні виробу складної конфігурації верхній пуансон може бути складеним з двох і більше частин, які рухаються незалежно одна від одної. Нижній пуансон, крім пресування, може служити для виштовхування готової пресовки. При однобічному пресуванні нижній пуансон замінюється підставкою, яка запобігає висипанню порошку.

Технологічні деталі забезпечують повноцінне виконання пресування від засипання порошку до виштовхування готової пресовки. До них відносяться: напрямні колонки, втулки, упори, різні деталі кріплення, пружини тощо.

Загальний вигляд складеної прес-форми наведений на рис. 1.1.

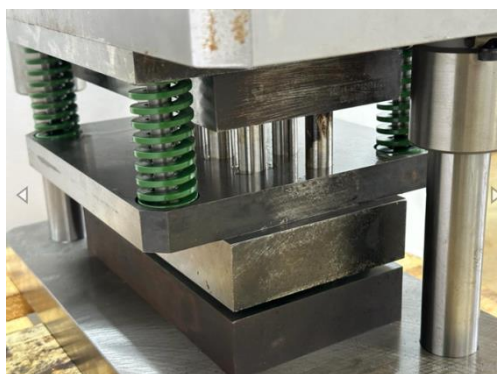


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд багатогніздної прес-форми

1.2 Особливості роботи прес-форм

За своєю суттю процес пресування полягає у тому, що дисперсна сипуча речовина (металевий порошок) під дією тиску перетворюється у тверде пористе тіло (пресовку) заданої форми, розмірів і властивостей.

Залежно від температури формування пресування поділяється на холодне і гаряче.

Внаслідок холодного (при кімнатній температурі) пресування у замкненому об'ємі прес-форми отримують пресовку – заготовку, яка за формою і розмірами відповідає готовому виробу з припусками, необхідними для проходження наступних технологічних операцій.

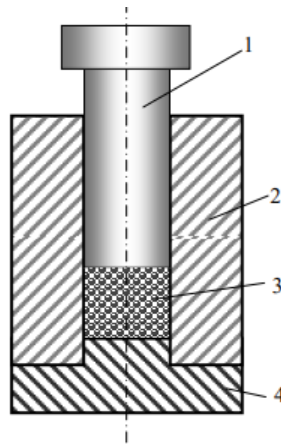
Гаряче пресування дозволяє отримувати вироби з порошків, які не піддаються формуванню звичайними способами [4-7]. Гаряче пресування здійснюється переважно на гідравлічних пресах. Прес-форми виготовляються з жароміцних сталей при температурі пресування до 1000°C і з графіту при вищих температурах. Нагрівання проводиться головним чином за допомогою індукторів високої частоти. Одночасно вживаються заходи з попередження окиснення порошків. Попри значні технологічні труднощі гаряче пресування застосовується для отримання виробів з високими щільністю і механічними властивостями [2-4].

Порошкові вироби різної складності для забезпечення рівномірної щільності пресовок по висоті можуть виготовлятися одно- і двобічним пресуванням.

Порівняно прості вироби з незмінним поперечним перерізом і з співвідношенням висоти до поперечного перерізу не більше 1,5...2,0 виготовляються у порівняно простих прес-формах для однобічного пресування (рис. 1.2).

Якщо згадане вище співвідношення більше 2, використовують двобічне пресування. Така прес-форма має матрицю з наскрізним отвором і два пуансони

– верхній і нижній. Можливі два способи пресування: з нерухою і рухою матрицями.

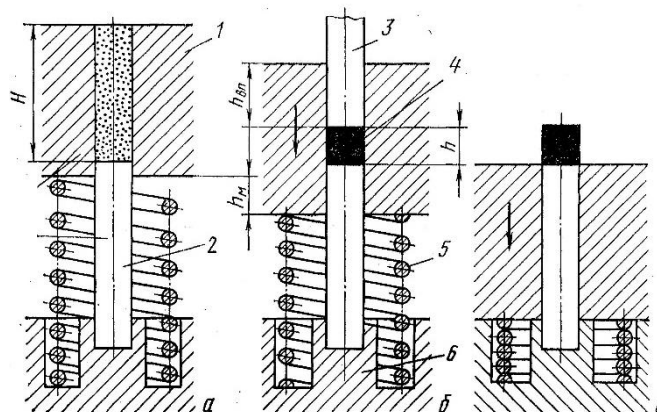


1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – виріб; 4 – підкладка

Рисунок 1.2 –Прес-форма одностороннього пресування

У першому випадку у порожнину, утворену матрицею і нижнім пуансоном, засипається порошок, і ущільнення здійснюється одночасним переміщенням пуансонів назустріч один одному.

При пресуванні з рухою, «плавучою» матрицею заповнення робочої порожнини матриці проходить аналогічно, але рух пресування починає лише верхній пуансон (рис. 1.3).



1 - матриця; 2 - нижній пуансон; 3 - верхній пуансон; 4 – пресовка; 5 – пружина; а – заповнення матриці порошком; б – пресування; в – виштовхування пресовки

Рисунок 1.3– Двобічне пресування з рухою матрицею

В міру ущільнення порошок створює тиск на стінки матриці. Виникають значні сили тертя, які змушують рухатися вниз і матрицю. Спільний рух продовжується

доки, поки пресовка не отримає заданих щільності і розмірів. Після цього верхній пуансон зупиняється, а подальший рух матриці виконує виштовхування пресовки.

1.3 Отримання виробу пресуванням

При проектуванні прес-форми треба чітко знати технологію виготовлення відповідного виробу, оскільки на певних етапах відбуваються зміни розмірів виробу, які треба врахувати, якщо хочемо отримати його задані розміри. Процес пресування починається із заповнення порожнини матриці засипкою. Після цього йде формування пресовки заданої конфігурації і щільності. Отримана пресовка виштовхується, і її розміри змінюються. Під час подальшого спікання виріб має отримати остаточні задані розміри, тому й тут треба заздалегідь врахувати усадку матеріалу виробу при спіканні

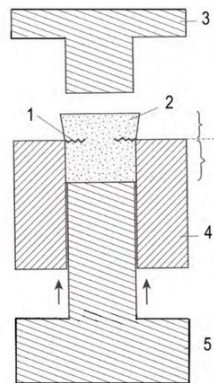
З початком *формування* ущільнення починається у шарах порошку безпосередньо під пуансоном за рахунок інтенсивного руху частинок і перерозподілу порожнин між ними. З подальшим рухом пуансона кількість і розміри порожнин між частинками зменшується, відбувається так звана структурна деформація порошкового тіла.

У певний момент під подальшим тиском частинки порошку стають максимально щільно упаковані одна до одної, і виникає опір стисканню, але самі частинки ще не деформуються. Коли тиск пресування перевищить границю плинності матеріалу порошку, починається пластичне деформування частинок.

Взаємне переміщення частинок припиняється, а пластичне деформування охоплює весь об'єм порошкового тіла.

У подальшому частинки деформуються і пружно, і пластично; їх форма спотворюється, зазори між частинками практично зникають. Сили пружного деформування, що виникли, створюють сили тертя на стінках прес-форми. За рахунок цього виникає нерівномірність щільності як по висоті, так і по поперечному перерізу пресовки. Після цього пресовку деякий час витримують під тиском пресування з метою перерозподілу і вирівнювання напружень. Наприкінці формування намагаються досягнути мінімальної і рівномірної пористості, щоб уникнути спотворення форми виробу при спіканні.

Сформовану пресовку *виштовхують* з прес-форми. Пружні сили, що утримувалися стінками матриці, починають розтягувати (збільшувати) розмір пресовки. Ці сили можуть перевищити сили зчеплення частинок і призвести до руйнування пресовки (рис. 1.4). Причому руйнування може відбутися не одразу після виштовхування, а іноді через декілька годин.



1 - тріщина; 2 – пресовка; 3 – верхній пуансон; 4 – матриця; 5 – виштовхувач

Рисунок 1.4 – Схема виштовхування пресовки

Спікання – останній етап виготовлення виробу. Його мета – замінити механічний контакт частинок порошку на міжатомний, тобто створити з окремих частинок єдине металеве ціле.

Якщо матеріал виробу становить багатокomпонентну суміш, твердофазне спікання проводиться при температурі $(0,7 \dots 0,9)$ абсолютної температури плавлення найбільш легкоплавкого компонента суміші у відновлювальній атмосфері. Остання повинна забезпечити видалення оксидних плівок на поверхні частинок, що сприятиме кращому їх металевому контакту.

Під час витримки частинки набувають округлу форму, контакти частинок збільшуються. Одночасно об'єм пор і пресовки в цілому зменшується, йде усадка виробу. Час витримки при спіканні сприяє стабілізуванню розмірів, щільності і міцності виробу.

РОЗДІЛ 2 ЗАВДАННЯ НА ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕС-ФОРМИ

2.1 Аналіз основних даних завдання

Проєктування будь-якого виробу починається з визначення його основних експлуатаційних характеристик. Характеристики, необхідні при проєктуванні прес-форми для виготовлення виробів з порошкових матеріалів, дуже різноманітні і пов'язані головним чином з тим, який виріб буде виготовлятися і яка технологія передбачається для його виготовлення.

З точки зору виробу важливо знати його конфігурацію і основні розміри з усіма необхідними допусками, співвідношення висоти і діаметра, допустиму пористість, механічні та технологічні властивості матеріалу виробу.

З точки зору технології виготовлення виробу треба знати дуже багато характеристик: чи буде пресування холодним чи гарячим, одно- чи двобічним. На проєктування впливатиме питомий тиск пресування, режим і умови спікання, наявність чи відсутність додаткового оброблення після спікання (наприклад, термооброблення, калібрування і т.п.).

Від цих характеристик залежить підхід до проєктування окремих елементів прес-форми. Наприклад, розмір і конфігурація поперечного перерізу матриці, її конструкція – суцільна чи розрізна – залежить від зовнішньої конфігурації виробу. Складність переходів поперечного перерізу виробу по висоті визначає конструкцію пуансонів – верхнього і нижнього. Кожен з них може бути також суцільним або складеним з декількох частин.

Якщо у виробі є отвір, треба визначити поперечний переріз стрижня. Подумати, чи буде він рухомим, чи нерухомим.

Всі елементи прес-форми повинні мати достатню міцність і жорсткість та високу зносостійкість, оскільки всі металеві порошки мають достатньо високу абразивність. Тому потрібний правильний вибір матеріалу прес-форм, а

для підвищення зносостійкості для робочих поверхонь окремих деталей можна передбачити відповідне термічне або хіміко-термічне оброблення.

2.2 Властивості матеріалу виробу

Щоб у спроектованій прес-формі отримати виріб заданих розмірів, треба враховувати фізичні і технологічні характеристики матеріалу виробу. На різних етапах виготовлення розміри заготовки змінюються, і ці зміни можуть суттєво залежати від згаданих вище властивостей матеріалу.

Згідно з чинними стандартами під конструкційними порошковими матеріалами на основі заліза розуміються матеріали найрізноманітнішого призначення від матеріалів з помірною міцністю до корозійностійких і жароміцних. За хімічним складом їх основу становить залізо. Середній вміст вуглецю змінюється від 0,1 до 0,7%. Вміст шкідливих домішок обмежується сотими частками відсотка. У сумішах спеціального призначення (корозійностійких, жароміцних тощо) передбачається певний вміст необхідних легувальних елементів.

Маркування конструкційних порошкових матеріалів на основі заліза складається з букв і цифр. Букви ПК говорять про те, що це порошок конструкційного призначення. Перша двозначна цифра показує середній вміст вуглецю у сотих частках відсотка. Якщо це порошок легованої сталі, далі йдуть букви і цифри, які відповідають виду і вмісту легувальних елементів згідно з прийнятою у матеріалознавстві системою. Далі для кожного хімічного складу показується мінімальна густина пресовки, яка може бути отримана при тому чи іншому питомому тиску пресування.

На зміни стану і властивостей порошку під час пресування у прес-формі впливає не лише хімічний склад суміші, але й розміри і форма частинок порошку,

яка може бути від кулястої до дендритної. Гранулометричний склад суміші, що використовується для виготовлення виробу, суттєво впливає на характер взаємодії пуансона і матриці.

Серед конструкційних порошкових матеріалів найпоширеніші – порошкові сталі. Залежно від хімічного складу та особливостей технології виготовлення пресовка може мати структуру від фериту до мартенситу. Щоб покращити експлуатаційні властивості, вироби з порошкових сталей можуть піддаватися термічному, хіміко-термічному та термомеханічному обробленню.

Склад і технологічні властивості порошкового матеріалу, з якого виготовляється виріб, суттєво впливає на проектування прес-форми. Так, залежно від вмісту вуглецю, власної пластичності частинок порошку залежить питомий тиск пресування, а у деяких випадках й температура пресування. Ці чинники впливають і на розміри, і на вибір матеріалу елементів прес-форми.

У якому ступені при пресуванні відбувається перетворення сипучої маси у щільну пресовку, тобто перехід від насипної щільності порошку до густини пресовки, залежить хід пуансона при пресуванні, який впливає на висоту матриці.

Бічний тиск на стінки матриці залежить від коефіцієнта Пуассона даного порошку, який може бути різним залежно від хімічного складу. Бічний тиск визначає товщину стінок матриці, яка повинна бути міцною і жорсткою під його дією. Крім того, бічний тиск визначає пружну післядію пресовки – збільшення її розмірів після виштовхування з матриці. Це збільшення за довідниками становить 2...3% і має бути враховано при визначення розмірів матриці.

Після пресування і виштовхування пресовка піддається спіканню. Спікання порошків на основі заліза [2, 4-6] залежно від хімічного складу проводиться при температурі 850...900⁰С у захисній атмосфері (вакуум, водень). Тривалість цього процесу може тривати від 40 до 90 хв. залежно від складу матеріалу, розмірів, товщини стінок виробу та інших чинників. Після спікання розміри виробів на основі залізних порошків зменшуються внаслідок усадки. Величина усадки може становити від 5 до 15%. Як правило, для конкретного

порошку величина усадки, яку треба враховувати при проектуванні прес-форми, визначається експериментально.

2.3 Дані для розрахунку деталей прес-форми

Для перевірки технології проектування прес-форми для виготовлення виробів з порошкових сталей у даній роботі проведені всі необхідні розрахунки на прикладі виробу певних розмірів з конкретним хімічним складом порошку.

У даному випадку розрахунки і геометричних розмірів елементів прес-форми, і перевірка їх на міцність проводяться для виробу з порошкової сталі певної марки. Серед порошкових конструкційних матеріалів на основі заліза для розрахунків обрана порошкова сталь марки ПК 10-64.

Згідно зі стандартами це сталь маловуглецева, середня масова частка вуглецю – 0,1%, домішок не передбачається. У стані первинного виготовлення має структуру фериту з невеликими включеннями перліту.

За гранулометричним складом 80% частинок мають розмір не менше 0,071 мм.

Для розрахунків прес-форми обраний виріб у формі плоского диска, який має зовнішній діаметр $D_n = 48_{-0,064}^{-0,025}$ мм, і отвір діаметром $d_{вн} = 28^{+0,033}$ мм.

В

и

с

о Внаслідок обраного тиску пресування і режиму спікання отримують виріб з густиною ($\rho_{пр}$) – 6,4 г/см³. За таких умов виробництва пористість виробів становить 20%, тому вони відносяться до групи малонавантажуваних. За стандартною технологією виготовлення вироби мають такі гарантовані механічні властивості: границя міцності $\sigma_B = 140$ МПа, відносне видовження $\delta = 3\%$, твердість за Бринелем – 500 НВ.

к

у

Оскільки діаметр виробу більше його висоти, його можна виготовити однобічним пресуванням. Матеріал виробу має низький вміст вуглецю і тому достатньо високу пластичність, тому виготовляти виріб можна без зовнішнього нагрівання. Отже, проєктується прес-форма для виготовлення виробів холодним однобічним пресуванням.

Щоб забезпечити ефективну роботу, у прес-формі для пари «матриця-пуансон» обирається посадка з гарантованим зазором. Спираючись на необхідну точність порошкового виробу та літературні рекомендації [1, 3-6], орієнтовно

о

б Таким чином, на підставі попереднього аналізу вихідних даних та умов експлуатації наступне проєктування прес-форми ведеться з метою досягнення у рій заданих розмірів, щільності і густини виробу при згаданій вище величині питомого тиску з урахуванням притаманних порошковим сталям пружної післядії та усадки.

м

о

р

о

б

о

ч

у

п

о

с

а

д

к

у

РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРЕС- ФОРМ

3.1 Визначення геометричних розмірів деталей прес-форми

У даній роботі проводиться розрахунок формотвірних деталей прес-форми: матриці і пуансона, а також стрижня, оскільки деталь-приклад має отвір.

Розміри *матриці*, які підлягають розрахунку, - це внутрішній діаметр D_m і висота H_m . Вони залежить від заданих розмірів і щільності виробу, технологічних властивостей матеріалу виробу, впливу поточних операцій на розміри пресовки, а також від припусків на оброблення, необхідне після спікання.

Номинальний розмір внутрішнього *діаметра матриці* D_m , мм, розраховується за формулою: [2, 4, 6]:

$$D_m = D_n \pm IT/2 - I_{пд} \pm n_d + K, \quad (3.1)$$

де D_n – номінальний розмір виробу, що пресується, мм;

IT – поле допуску на номінальний розмір виробу, мм;

$I_{пд}$ – розмір пружної післядії за діаметром після виштовхування, мм;

n_d – розмір усадки виробу після спікання, мм;

K – припуск на операції оброблення, необхідні після спікання.

При використанні формули (3.1) необхідно врахувати особливості вимог до виробу і технології, яка використовується для його виготовлення.

Д

о

д

а

н

о

к

Д

о

ц

У даній роботі розраховується розмір внутрішнього діаметра матриці, який використовується для виготовлення деталі-прикладу.

розмір пресовки при спіканні (зменшується чи збільшується). Для залізних порошків розмір виробів при спіканні зменшується, тому, щоб це зменшення компенсувати, діаметр матриці має бути збільшений на величину (+ n_d).

Тому при проектуванні *нової* матриці для виготовленні виробів з порошкових сталей розмір D_m розраховується за формулою:

$$D_m = D_n - IT/2 - I_{\text{пд}} + n_d + K. \quad (3.2)$$

Оскільки зовнішній діаметр виробу $D_n = 48_{-0,064}^{-0,025}$ мм, поле допуску у формулі (3.2) $IT = es - ei = -0,025 - (-0,064) = 0,039$ мм. Спираючись на літературні дані, приймаємо величину пружної післядії 2,5% і величину зсідання при спіканні 8%; тоді $I_{\text{пд}} = 0,025 \cdot 48 = 1,2$ мм і $n_d = 48 \cdot 0,08 = 3,84$ мм. Припуск на наступні операції приймаємо $K = 0,3$ мм.

З урахуванням визначених величин розмір внутрішнього діаметра матриці:

$$D_m = 48 - 0,039/2 - 1,2 + 3,84 + 0,3 = 50,92 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

З урахуванням прийнятого поля допуску матриці Н7 визначаємо для подальших розрахунків наступний розмір внутрішнього діаметра матриці з граничним відхиленням згідно з ДСТУ ISO 286-2-2002 [8]: $D_m = 51^{+0,030}$ мм.

Загальна висота матриці складається з таких елементів:

$$H_m = h_{\text{зав}} + h_v + h_n + l_k, \quad (3.4)$$

де $h_{\text{зав}}$ – глибина завантажувальної камери; h_v , h_n – величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів відповідно, мм; l_k - висота конусної ділянки на виході виробу матриці, мм.

У формулі (3.4) глибина завантажувальної камери $h_{\text{зав}}$ у свою чергу складається з висоти пресовки до спікання $h_{\text{пр}}$ і величини шляху пресування h_1 (рис3.1).

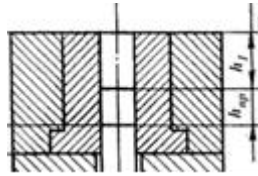


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку глибини завантажувальної камери

Тобто:

$$h_{\text{зав}} = h_{\text{пр}} + h_1. \quad (3.5)$$

Висота пресовки до спікання залежить від заданої висоти виробу, а також від змін, що відбуваються з пресовкою при виштовхуванні та спіканні:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ном}} - l_{\text{пв}} \pm n_{\text{в}} + K, \quad (3.6)$$

де $h_{\text{ном}}$ – задана висота 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.

Зміни величини пресовки у вертикальному напрямку практично збігаються з прийнятими змінами у горизонтальному напрямку (післядія – 2,5%, зсідання – 8%) тоді при висоті пресовки $h_{\text{ном}} = 30$ мм пружна післядія $l_{\text{пв}} = 30 \cdot 0,025 = 0,75$ мм, зсідання $n_{\text{д}} = 30 \cdot 0,08 = 2,4$ мм і припуск на наступні операції K приймаємо 0,3 мм.

За формулою (3.6)

$$h_{\text{пр}} = 30 - 0,75 + 2,4 + 0,3 = 31,68 \text{ мм}. \quad (3.7)$$

Величина *шляху пресування* h_1 залежить від зміни насипної щільності порошку $\rho_{\text{н}}$ до густини пресовки $\rho_{\text{пр}}$ і знаходиться за формулою:

$$h_1 = h_{\text{пр}} \cdot (\rho_{\text{пр}} / \rho_{\text{н}} - 1). \quad (3.8)$$

Кількісна величина шляху пресування:

$$h_1 = 31,68 \cdot (6,4/2,3 - 1) = 56,5 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

Величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів звичайно приймаються не більш 10 мм. Оскільки прес-форма, що проектується, однобічного пресування, то у формулі (3.4) $h_B = 10$ мм, а $h_H = 0$.

Щоб попередити розшарування у пресовці після виштовхування (див. рис. 1.4), на вихідному кінці матриці додається конусна ділянка, розширена по діаметру на 0,5...1,5 мм. Її довжина l_k може становити від 5 до 30 мм; для даної прес-форми приймаємо $l_k = 10$ мм.

Об'єднавши формули (3.4) і (3.5) і маючи кількісні величини відповідних доданків, знаходимо загальну висоту матриці:

$$H_M = 31,68 + 56,5 + 10 + 0 + 10 = 108,18 \approx 108_{-0,3} \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Номінально *діаметр пуансона* d_p і діаметр матриці D_M мають однаковий допуску він, з одного боку, має бути мінімальним, а з іншого – не допускати просипання основної фракції порошку. Мінімальний зазор за літературними даними [4, 6] становить 0,005...0,015 мм. За наведеними вище вихідними даними основна фракція порошкової сталі має розмір частинок понад 0,071 мм. Тому для розрахунків обираємо зазори: $S_{\min} = 0,005$ мм, і $S_{\max} = 0,065$ мм. Знаючи граничні відхилення матриці ($ES = 0,030$ мм, $EI = 0$ мм) і обрані зазори, знаходимо граничні відхилення пуансона за формулами:

$$es = EI - S_{\min} = 0 - 0,005 = - 0,005 \text{ мм;} \quad (3.11)$$

e

i

=

E

За ДСТУ ISO 286-2-2002 [8] найближчими до отриманих розрахунками є граничні відхилення: $es = -0,010$ мм, $ei = -0,029$ мм. Тому, остаточно діаметр пуансона має розмір $d_{\text{п}} = 51_{-0,029}^{-0,010}$ мм (основне відхилення g6).

Висота пуансона знаходиться за формулою:

$$H_{\text{п}} = h_1 + h_{\text{в}} + l_{\text{к}} + (5 \dots 10). \quad (3.13)$$

Основні доданки формули (3.13) відомі. Доданок (5...10) служить до того, щоб при пресуванні верхня плита преса не торкалася торця матриці. Відповідно висота пуансона становить:

$$H_{\text{п}} = 56,5 + 10 + 10 + 6 = 82,5 \text{ мм}. \quad (3.14)$$

Даний виріб має отвір діаметром $d_{\text{вн}} = 28^{+0,033}$ мм, і для його виготовлення потрібний **стрижень**. Для розрахунку його діаметра основою є діаметр отвору, але відрізняється від нього внаслідок змін розмірів пресовки при виштовхуванні та спіканні. У зв'язку з тим, що мова йде про внутрішній діаметр, формула для його розрахунку аналогічна формулі (3.1), але з протилежними знаками:

$$d_{\text{ст}} = d_{\text{вн}} \pm IT/2 + l_{\text{пв}} - n_{\text{в}} - K. \quad (3.15)$$

У формулі (3.15) максимальний діаметр отвору становить відповідно 28,033 мм, а мінімальний – 28,0 мм. Розрахунок відхилень такий: післядія (2,5%) $l_{\text{пв}} = 28 \cdot 0,025 = 0,7$ мм; зсідання (8%) $n_{\text{д}} = 28 \cdot 0,08 = 2,24$ мм; припуск на наступні операції $K = 0,3$ мм

Тоді за формулою (3.15):

$$d_{\text{ст}}^{\text{max}} = 28,033 + 0,02 + 0,7 - 2,24 - 0,3 = 26,213 \text{ мм}, \quad (3.16)$$

$$d_{\text{ст}}^{\text{min}} = 28 + 0,02 + 0,7 - 2,24 - 0,3 = 26,18 \text{ мм}. \quad (3.17)$$

Знаходячи у ДСТУ ISO 286-2-2002 [8] найближчі до отриманих розмірів граничні відхилення $es = -0,007\text{мм}$ і $ei = -0,040\text{ мм}$, отримуємо діаметр пуансона

2
6
,
2
—
0

3.2 Перевірка деталей прес-форми на міцність

,
0
4

Перевірка деталей прес-форми на міцність полягає у визначенні товщини стінки матриці через знаходження її зовнішнього діаметра, а також перевірку пуансона на міцність за умов експлуатації. Основою для розрахунків служать відомості, наведені у підрозділі 2.1 та отримані розрахунками у підрозділі 3.1.

Тобто на початку розрахунків внутрішній діаметр матриці і діаметр пуансона дорівнює 51 мм. Діаметр стрижня і отвору в пуансоні для переміщення стрижня при пресуванні для розрахунків можна прийняти як 26 мм. Розрахункова довжина пуансона становить 82,5 мм. За довідниковими даними коефіцієнт Пуассона порошкових сталей становить $\nu = 0,28$. Робочий тиск пресування $p = 400\text{ МПа}$.

Оскільки виріб виготовлятиметься у прес-формі при досить помірному пресуванні холодним пресуванням, для виготовлення матриці і пуансона можна вибрати інструментальну сталь ХВГ. За даними, наведеними у додатку А, сталь має такі механічні властивості: границя міцності при розтягу $\sigma_b = 760\text{ МПа}$, границя міцності при стисканні $\sigma_b^{ст} = 2900\text{ МПа}$, твердість 40...45 HRC.

Коефіцієнт Пуассона для всіх сталей практично однаковий: $\nu_c = 0,28$ і модуль поздовжньої пружності $E = 215\text{ ГПа}$.

с

На першому етапі *зовнішній діаметр* циліндричної матриці D_2 звичайно знаходиться за емпіричною формулою [4, 6]:

g

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{([\sigma] + p\nu_c) / ([\sigma] - p\nu_c)}, \quad (3.18)$$

де D_1 – номінальний внутрішній діаметр матриці, мм;

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

p – питомий тиск пресування, МПа;

ν_c – коефіцієнт Пуассона сталей.

У даній формулі відомі: діаметр матриці D_1 , тиск пресування p і коефіцієнт Пуассона сталі ν_c . Додатково треба знайти допустиме напруження для сталі ХВГ, обраної як матеріал матриці. Звичайно коефіцієнт запасу міцності для деталей прес-форм обирається у межах $n = 2 \dots 3$. Тому при коефіцієнті запасу міцності $n = 3$ допустиме напруження для сталі ХВГ $[\sigma] = \sigma_b / n = 760 / 3 = 253$ МПа.

Тоді попередня величина зовнішнього діаметра:

$$D = \frac{253 + 400 \cdot 0,28}{253 - 400 \cdot 0,28} = 80,37 \text{ мм.} \quad (3.19)$$

Але, щоб забезпечити матриці достатню жорсткість, літературні джерела рекомендують спочатку зробити перевірку, пов'язану з бічним тиском p_b . Вважається, що при бічному тиску менше 200 МПа треба заздалегідь збільшити отриманий діаметр у 2 рази, а при більшому – 3 рази.

Бічний тиск знаходиться за формулою:

$$p_b = \frac{p \cdot \nu}{1 - \nu} \quad (3.20)$$

де p – тиск пресування, МПа;

ν – коефіцієнт Пуассона порошкових сталей.

Розрахунок показує:

$$p_b = \frac{400 \cdot 0,28}{1 - 0,28} = 155 \text{ МПа.} \quad (3.21)$$

Оскільки $p_b < 200$ МПа, приймаємо зовнішній діаметр матриці $D_2 = 80 \cdot 2 = 160$ мм.

Перевірка на жорсткість полягає у тому, щоб визначити відносну деформацію стінки матриці ε , яка не вплине на якість виробів, що будуть у ній виготовлятися.

Досвід експлуатації показує, що для отримання якісної продукції відносна деформація стінки ε не повинна перевищувати 0,2%.

Відносна деформація стінки матриці розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{p_b}{E} \cdot \left[\frac{D_2^2 + D_1^2}{D_2^2 - D_1^2} + \nu_c \right] 100\%, \quad (3.22)$$

де p_b – бічний тиск при пресуванні, Па;

E – модуль поздовжньої пружності сталей, Па.

Розрахункова величина відносної деформації стінки матриці:

$$\varepsilon = \frac{155 \cdot 10^6}{215 \cdot 10^9} \cdot \left[\frac{160^2 + 51^2}{160^2 - 51^2} + 0,28 \right] \cdot 100 = 0,096\%. \quad (3.23)$$

За ДСТУ ISO 286-2-2002 згідно з прийнятим основним відхиленням h7 знаходимо для *зовнішнього* діаметра матриці (вала) граничне відхилення для D_2

Пуансон як стрижень, навантажений зусиллям, що діє вздовж осі, перевіряється на міцність при стисканні та на стійкість при повздовжньому згині.

Умова міцності пуансона *при стисканні* полягає у тому, що стискальне напруження, яке діє у поперечному перерізі пуансона $\sigma_{ст}$, має бути не більше допустимого напруження при стисканні $[\sigma_{ст}]$ для матеріалу пуансона [9, 10]:

$$\sigma_{ст} = P / S = k p \cdot S / S = k p \leq [\sigma_{ст}], \quad (3.24)$$

де P – розрахункове зусилля пресування, Н;

S – площа опорної поверхні пуансона, м²;

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

$[\sigma_{ст}]$, - допустиме напруження при стисканні, МПа.

За отриманих рекомендацій діюче стискальне напруження

$$\sigma_{ст} = k p = (1,25...1,4) \cdot 400 = 500...560 \text{ МПа.} \quad (3.25)$$

Для сталі ХВГ при коефіцієнті запасу міцності $n = 3$ допустиме напруження при стисканні становитиме $[\sigma_{ст}] = \sigma_{в}^{ст} / n = 2900/3 = 967 \text{ МПа}$. Якщо порівняти діюче і допустиме напруження при стисканні, то виявляється, що пуансон витримує навантаження стискання.

Умова безпеки пуансона *на позадвжній згин* полягає у тому, щоб критичне навантаження $P_{кр}$, яке призводить до втрати стійкості, перевищувало діюче зусилля пресування P .

Діюче зусилля пресування для пуансона, переріз якого має форму кола діаметром D_1 з концентричним отвором діаметром d знаходиться за формулою:

$$P = k p \cdot \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d^2)}{4} = 1,25 \cdot 400 \cdot \frac{3,14 \cdot (51^2 - 28^2) \cdot 10^{-6}}{4} = 0,71 \text{ МН.} \quad (3.26)$$

Критичне навантаженні $P_{кр}$ при позадвжньому згині

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 EI_{п}}{l_{п}^2}, \quad (3.27)$$

де $I_{п}$ – осьовий момент інерції поперечного перерізу пуансона, м^4 ;

$l_{п}$ – максимальна довжина пуансона, м .

Невідомий у формулі (3.27) осьовий момент інерції поперечного перерізу пуансона знаходиться за формулою:

Підставляючи відомі діаметри, отримуємо:

$$\pi \cdot (D^4 - d^4) / 64. \quad (3.28)$$

$$I_{\text{п}} = \frac{3,14 \cdot (51^4 - 26^4) \cdot 10^{-12}}{64} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4. \quad (3.29)$$

Остаточно за формулою (3.27) отримуємо величину критичного навантаження:

$$P_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 215 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6}}{(82,5 \cdot 10^{-6})^2} = 3,52 \text{ МН}. \quad (3.30)$$

Оскільки критичне навантаження при поздовжньому згині $P_{\text{кр}}$ значно перевищує діюче зусилля пресування P , можна зробити висновок, що пуансон має достатній запас опору поздовжньому згину.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз вихідних даних для проєктування прес-форми: умови пресування, розміри можливого виробу, технологічні і механічні властивості матеріалу виробу.

2. Спираючись на літературні дані, розроблена послідовність визначення розмірів основних деталей прес-форми для виготовлення виробів з порошкових сталей.

3. Проведена перевірка запропонованої технології розрахунків на прикладі виробу певних розмірів з порошкової сталі марки ПК 10-64.

4. Як матеріал, що забезпечує достатню тривалість спроектованої прес-форми запропонована сталь ХВГ.

5. Спроектована прес-форма відповідає вимогам експлуатації і здатна виготовляти продукцію заданої якості.

ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ

1

Сизоненко В.О., Орман В.С., Самченко Г.Д., Гамбурова П.В., Черубаський В.П. *Нові порошкові матеріали: підручник*. Миколаїв: НУК, 2014. 344 с.

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

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

5. Писаренко В. Г., Савуляк В. В., Боковий Є. Ф., Завадюк С. В. *Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку: навч. посіб.* Вінниця: Вінниц. нац. техн. ун-т., 2019. 242 с.

6. Дрозденко О. С., Левенко О.Н. *Порошкова металургія: лекція*. [для студентів і спеціалістів ракет.-косміч. техніки]. Дніпро: Домінанта Прінт, 2021. 32 с.

7. Носенко М.І., Павлов В.О. *Розробка способів гарячої деформації порошкових заготовок при отриманні деталей конструкційного призначення. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, №1, 2013. С. 72-77.*

8. 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.

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

10. Корнілов О.А. *Опір матеріалів: підручник*. К.: Логос, 2002. 562 с.

1

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
СТАЛІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРЕС-ФОРМ

Використання	Марка сталі	Стан використання	Границя міцності на розтяг σ_B , МПа	Границя міцності при стисканні σ_B^{CT} МПа	Твердість, HRC
Матриці, пуансони, стрижні простої конфігурації	У8А, У10А, ХВГ	У стані постачання	650	1600	41...55
			670	1700	41...55
			760	2900	45...50
Матриці, пуансони, стрижні помірної теплостійкості	5ХНМ, 40Х13, 9ХС	У гарячекатаному стані	1350	3500	56...61
			830	1620	50...55
			790	3200	56...61
Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях	7Х3, Х12М, 12ХН3А	Гартування + відпускання	1320	3000	50...55
			1220	2800	58...60
			930	2540	50...58
Матриці, пуансони, стрижні при великих навантаженнях	Х12 Х12Ф1, 3Х2В8Ф	Цементування	1850	4100	55...58
			2200	4200	57...60
			1720	3900	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	550	1200	40...45