

**Лекція 31**  
**ОСНОВИ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ, ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ З**  
**ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Особливості та значення в сучасному машинобудуванні**

Порошкова металургія - це галузь, що охоплює виробництво порошків металів, їх сплавів і сполук, також неметалевими матеріалами (графіту, сажі) і одержання з них напівфабрикатів, заготовок або готових виробів. При цьому основний компонент таких матеріалів не доводять до плавлення.

Світове виробництво порошків металів (Fe, Cu, Ni, Co, Cr, W, Mo, V тощо) та їх сплавів, а також сполук (карбідів, боридів, силіцидів тощо) з частинками розміром від 0,1- 1,0 мкм до 1 мм перевищує на рік 1 млн. т за, а виробів з них- 550-600 тис. т. Щорічний приріст виробництва порошкової металургії становить в середньому 6-8 %, а іноді 15-20 %.

Метод порошкової металургії цінний насамперед тим, що дає змогу отримувати матеріали, які іншими методами отримати неможливо, наприклад, із металів зі значною різницею температури плавлення (W + Cu; W + Ag тощо), з металів і неметалів (бронза + графіт), з хімічних сполук (оксидів, карбідів, нітридів), матеріалів з певною заданою пористістю (підшипники ковзання, фільтри), з особливими електричними, магнітними та іншими властивостями.

Особливе місце серед порошкових матеріалів належить твердим сплавам. їх отримують із порошків карбідів WC, TiC, TaC з додаванням порошку кобальту. Вони мають велику твердість (85-92 HRA) і теплостійкість (900-1000 °C). Використовують їх переважно для виготовлення різального інструменту, який працює при значних навантаженнях і швидкостях різання.

Порошкова металургія відзначається також мінімальними втратами (іноді до 10 разів) матеріалів при виготовленні виробів, дає змогу значно зменшити верстатний парк та кількість робітників. Тому цей метод є високоефективним також при виготовленні деталей загального машинобудування або побутового

призначення, які отримують шляхом лиття та обробкою різанням. Такі вироби виготовляють з порошків сталі, бронзи, латуні та інших матеріалів. Їх, як і литво, можна додатково обробляти різанням, піддавати термічній обробці.

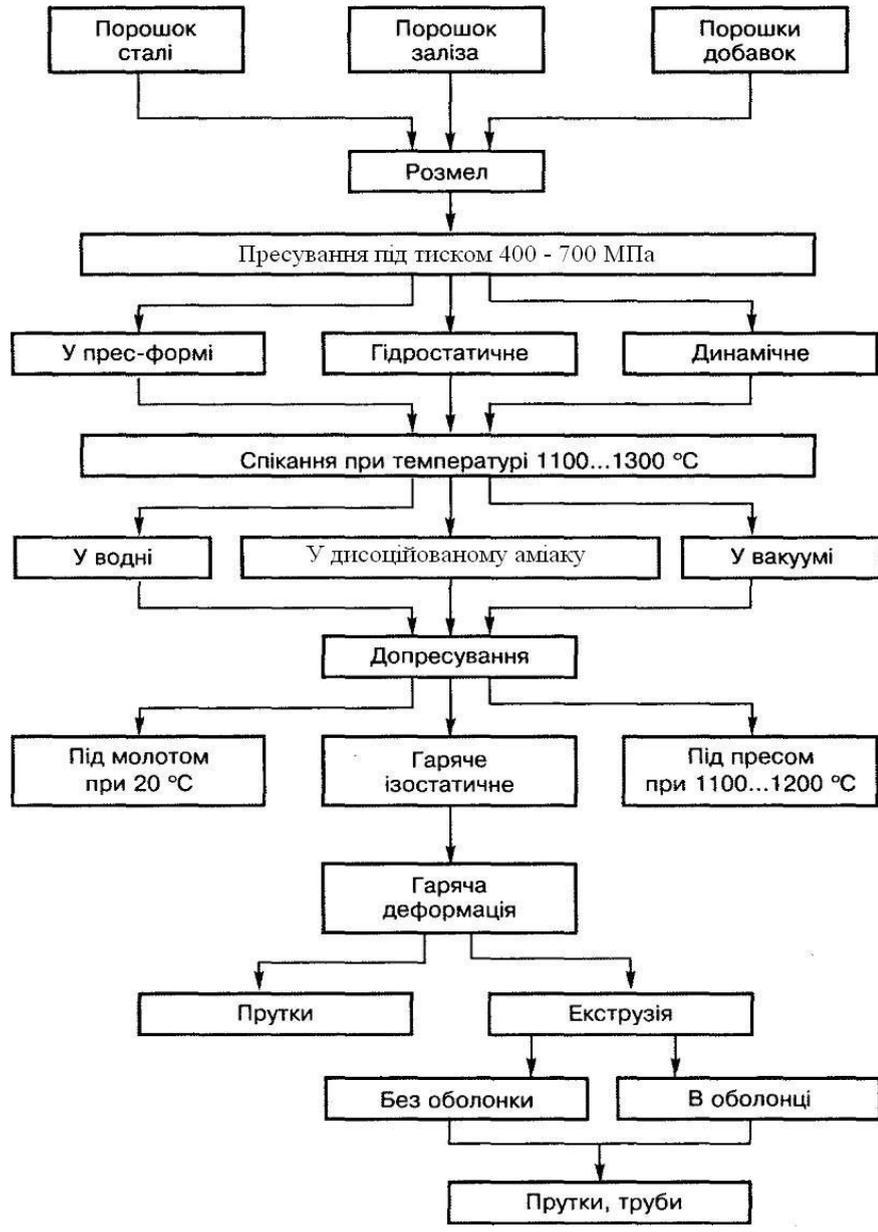
### **Технологія отримання порошкових сплавів та їх використання**

Технологічний процес порошкової металургії включає одержання порошків, підготовку шихти, пресування (формування) і спікання, а в деяких випадках і додаткову обробку - гаряче допресування, калібрування, просочування мастилами тощо.

Отримання порошків. Для виготовлення спечених виробів використовують порошки розміром 0,5-500 мкм. Отримують такі порошки механічними та хімічними методами.

Механічні методи - це розмел стружки та відходів металообробки, розпилення рідкого металу. Розмел здійснюють у вихрових і кульових млинах.

Вихровий млин складається з футерованого зносостійкою сталлю кожуха, всередині якого обертаються два пропелери 1 з частотою близько 300 об/хв, що створює в робочій камері 2 вихрові потоки. Кусочки подрібнюваного металу у вигляді січки або дрібної стружки із бункера 5 надходять у камеру 2, підхоплюються цими потоками і, стикаючись між собою, подрібнюються на частинки порошку розміром 50-200 мкм. Під час розмелу частинки металу інтенсивно нагріваються. Для запобігання окисленню і самозайманню порошку кожух млина має водоохолоджувану оболонку, а в камеру нагнітається інертний або захисний газ. Він підхоплює частинки порошку і переносить у приймальну камеру 4, де крупні частинки відділяються і направляються в осаджувальну камеру 3 і далі на додатковий розмел, а дрібні - в контейнер. У вихрових млинах порошкових напівфабрикатів і виробів подрібнюють такі метали як залізо, мідь, алюміній, вуглецеві й леговані сталі.



Узагальнена технологічна схема виробництва сталевих виробів

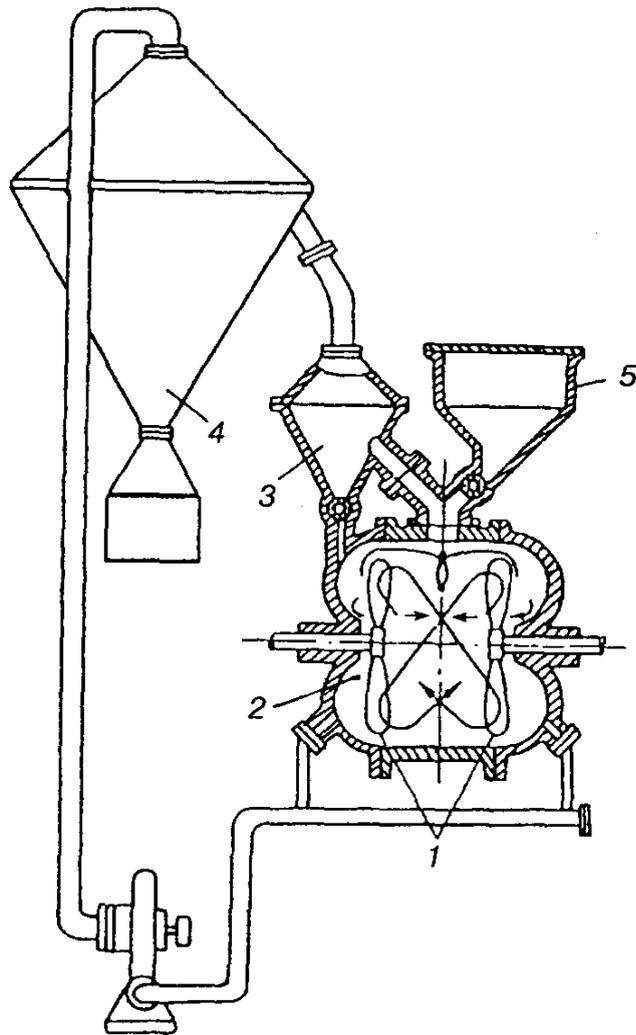


Схема вихрового млина.

Кульовий млин має вигляд сталевого або футерованого твердими сплавами барабана, в якому міститься матеріал, розмелюваний важкими сталевими або тврдосплавними кулями. Під час обертання барабана кулі підіймаються вгору, а потім, падаючи на розмелюваний матеріал, подрібнюють його. Частота обертання барабана залежить від його діаметра (від 100 до 1500 мм) і становить 30 - 120 об/хв. У кульових млинах подрібнюють крихкі непластичні матеріали (силіцій, манган, хром, тугоплавкі сполуки). Берилій і манган розмелюють в середовищі азоту або аргону, оскільки при значному подрібненні підвищується їх окислюваність і пірофорність.

У кульових млинах можна отримати найдрібніші частинки порошків розміром у кілька мікрометрів.

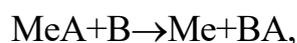
### Способи одержання порошків

Спосіб одержання порошків розпиленням струменю рідкого металу застосовують в основному для легкоплавких металів (олово, свинець, цинк, алюміній), заліза, нікелю та деяких інших металів, які мають температуру плавлення не вищу 1500 °С. Цей спосіб простий і водночас високопродуктивний. Недоліком його є можливість окислення порошку. Щоб запобігти цьому, застосовують відновні або інертні гази під тиском 50 - 100 МПа.

Фізико-хімічні методи отримання порошку полягають у відновленні металів з оксидів або солей вуглецем, воднем, природним газом. Відновленням отримують порошки заліза (з окалини), вольфраму, молібдену, хрому, міді та інших металів. До цих методів належить також термічна дисоціація карбонатів - сполук типу  $Me_x(CO)_y$  (де Me - один із металів), яка дає змогу отримати порошки високої чистоти.

Фізико-хімічні методи супроводжуються глибоким перетворенням вихідної сировини, внаслідок чого отриманий продукт відрізняється за хімічним складом від вихідного матеріалу. Найпоширенішими серед цих методів є відновлення, електроліз та термічна дисоціація карбонільних сполук.

Відновлення можна описати реакцією, що подана нижче у загальному вигляді:



де Me - будь-який метал, порошок якого необхідно отримати;

A - неметалева складова (кисень, хлор, фтор, соляний залишок) відновлюваної хімічної сполуки MeA;

B - відновник (водень, оксид вуглецю CO, кокс, сажа, Na, Ca, Mg, Al).

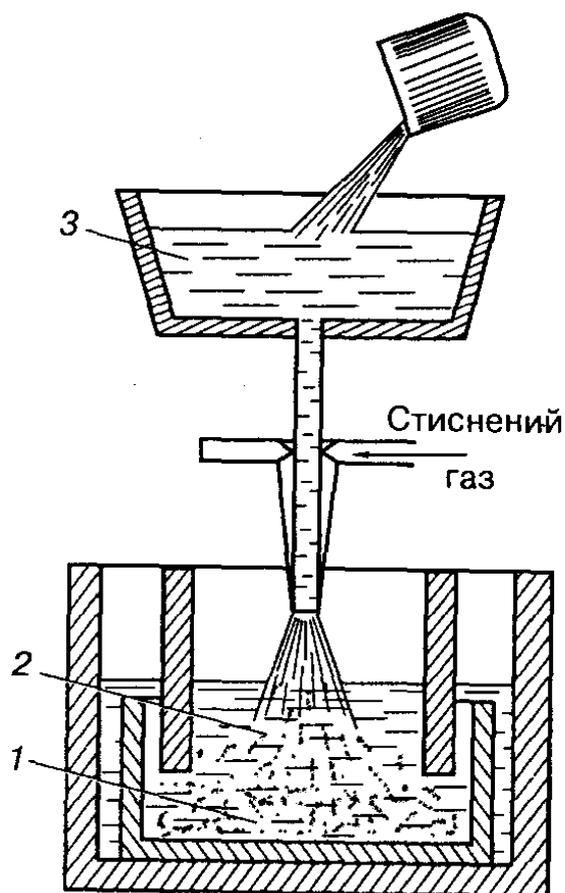


Схема одержання порошку розпиленням металу: 1 - порошок; 2 - вода для охолодження; 3 - рідкий метал

Так відновлюють із хімічних сполук (переважно оксидів) залізо, мідь, нікель, кобальт, вольфрам, молібден та інші метали. Продукти відновлення у вигляді крупинок або губки механічно роздрібнюють у порошок. Під час електролізу водянї розчини або розтоплені хімічні сполуки дисоціюють, а іони металу  $Me^{n+}$  під дією постійного електричного струму нейтралізуються електронами та осаджуються на катоді електролізної ванни.

Вдало підібраний режим електролізу дозволяє осаджувати на катоді не суцільний, а порошкоподібний метал, який періодично вилучають і передають на подальше подрібнення.

Карбонат типу – сполуки металу  $Me$  з оксидом вуглецю  $CO$ . Щоб отримати

карбонат, низькосортну сировину МехБз обробляють оксидом вуглецю при підвищеному тиску (5 - 10 МПа) та температурі 50 - 200 °С.

Фізико-хімічними методами отримують порошки заліза, нікелю, кобальту та деяких інших металів для виготовлення в основному деталей для електро- та радіотехнічних пристроїв.

Підготовка порошків до формування. Для виготовлення якісних заготовок або деталей порошки відпалюють, розділяють за розмірами частинок та змішують.

Відпал порошку сприяє повному відновленню оксидів, видаленню вуглецю та домішок, а також усуненню наклепу. Все це стабілізує його властивості та поліпшує пресування. Частіше відпалюють порошки, отримані механічним подрібнюванням.

Порошки з розміром понад 50 мкм розділяють за допомогою набору сит, а дрібніші - повітряною сепарацією.

Властивості порошкових виробів значною мірою залежать від якості змішування компонентів шихти. Ця операція здійснюється в спеціальних змішувачах - кульових або вібраційних млинах та іншими способами.

Іноді в порошкову масу додають різні технологічні наповнювачі (наприклад, розчин каучуку в бензині) для поліпшення пресування і можливості виготовлення заготовок видавлюванням (екструзією) або для забезпечення можливості механічної обробки (парафін, віск), виготовлення заготовок литтям (спирт, бензол тощо).

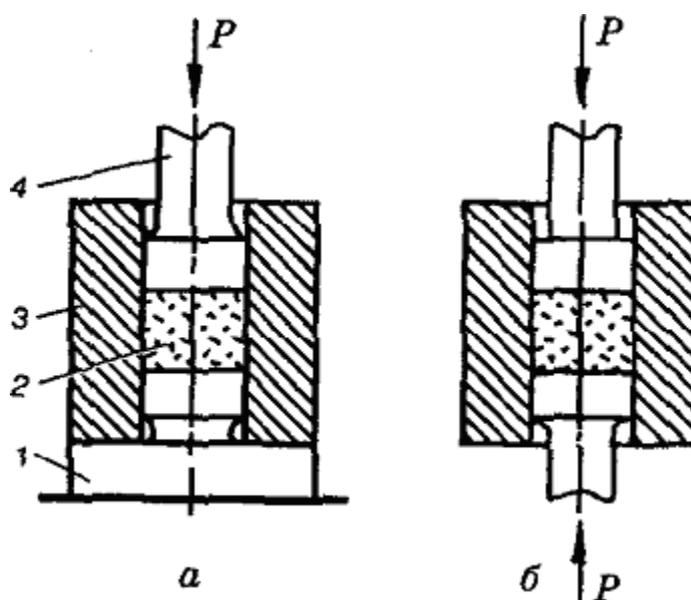
### **Формування заготовок**

Процес формування заготовок полягає в ущільненні порошку під дією прикладеного тиску з метою виготовлення з нього заготовок певної форми. Формування здійснюється пресуванням, видавлюванням, прокатуванням, шлікерним литтям.

Пресування проводять в холодних або гарячих прес-формах. Великі заготовки отримують гідростатичним пресуванням в еластичних формах.

Холодне пресування здійснюють так. У сталеву матрицю 3

пресформи з піддоном 1 засипають потрібну кількість порошкової шихти 2 і пресують її пуансоном 4. При цьому різко зменшується об'єм порошку, збільшується контакт між окремими часточками, відбувається їх механічне з'єднання, міцність заготовки збільшується, а пористість зменшується. Недоліком такої схеми пресування є нерівномірність розподілу тиску по висоті заготовки через тертя її об стінки матриці 3. Виготовлені в таких прес-формах заготовки мають різну по висоті міцність, щільність та пористість. Таким способом отримують заготовки простої форми та малої висоти. Для усунення зазначеного недоліку застосовують двостороннє пресування за допомогою двох рухомих пуансонів. Крім того, при такій схемі пресування тиск зменшується на 30 - 40 %.



Схеми холодного пресування

Залежно від потрібної пористості і міцності матеріалу заготовки та її форми тиск пресування становить 0,1 - 1,0 ГПа.

Гаряче пресування суміщає формування та спікання заготовок. Цей процес здійснюється в графітових прес-формах з індукційним або електроконтактним нагріванням. Завдяки високій температурі тиск при гарячому пресуванні можна

значно зменшити. Гаряче пресування відзначається малою продуктивністю, великою витратою прес-форм, тому застосовується головним чином для виготовлення заготовок із жароміцних матеріалів, твердих сплавів, чистих тугоплавких металів.

Гідростатичне пресування полягає в обтискуванні порошку, розміщеного в еластичній (наприклад, гумовій) оболонці, за допомогою рідини в гідростаті під тиском до 2 ГПа. Цей метод дає змогу отримувати заготовки великих розмірів, циліндрів і труб з рівномірною щільністю в усьому об'ємі.

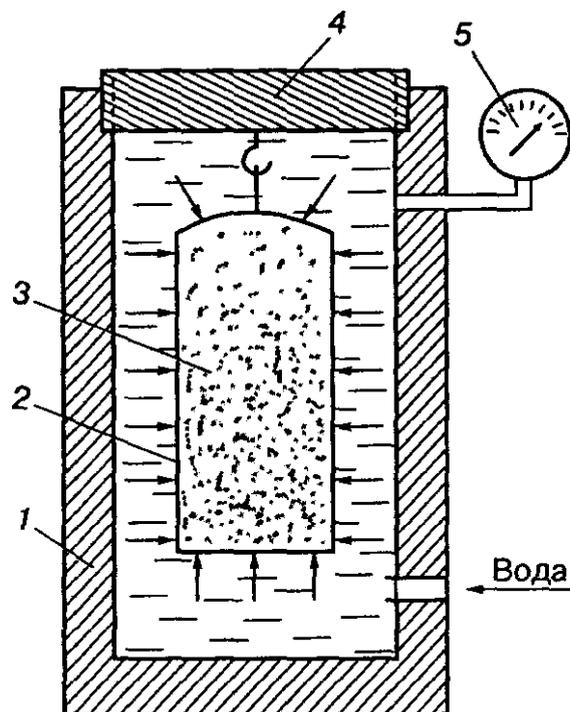


Схема установки для гідростатичного пресування порошків:

1 - камера; 2 - еластична оболонка; 3 - порошкова шихта; 4 - кришка; 5 - манометр

Екструзія - це формування заготовок видавлюванням шихти крізь матрицю з отвором різного перерізу. Для цього вихідний порошок змішують з пластифікатором (парафіном, воском) у кількості, яка забезпечує шихті консистенцію пластиліну. Цим способом отримують прутки, профілі різного перерізу, трубки. Для виготовлення пустотілих виробів (труб тощо) всередині

матриці розміщують відповідну оправку.

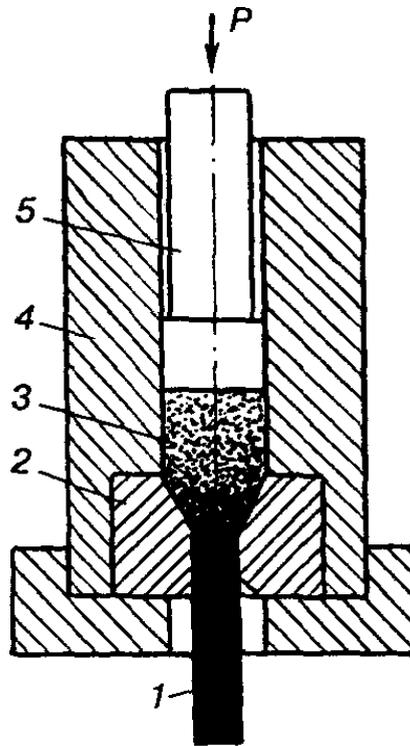


Схема формування порошків екструзією

1 - заготовка; 2 - матриця; 3 - шихта; 4 - контейнер; 5 – пуансон.

Прокатування здійснюють обтисненням порошкової шихти між горизонтально розміщеними валками 1. Цим способом отримують пористі та компактні стрічки, смуги та листи товщиною 0,02 - 3,00 мм та шириною 300 мм із заліза, нікелю, корозієстійкої сталі, титану та інших металів. Прокатування легко суміщується зі спіканням та іншими видами обробки. Для цього виготовлену заготовку пропускають крізь прохідну піч, а потім подають на прокатування для калібрування. Прокатуванням можна дістати також двошарові заготовки (наприклад, залізо-мідь). Для цього в бункері 2 уздовж валків 1 встановлюють перегородку 3, щоб поділити його на дві секції для двох потоків порошків.

Найбільш істотним фактором, що визначає щільність стрічки, є величина зазору між валками. Звичайно вона становить 1 % від діаметра валка. Зі збільшенням зазору щільність стрічки зменшується. Щільність стрічки залежить

також від швидкості прокатування. З підвищенням швидкості щільність та її рівномірність за шириною стрічки зменшуються. Тому для кожної товщини стрічки існує своя оптимальна швидкість прокатування, яка зумовлюється частотою обертання валків у межах 0,5 - 50,0 об/хв.

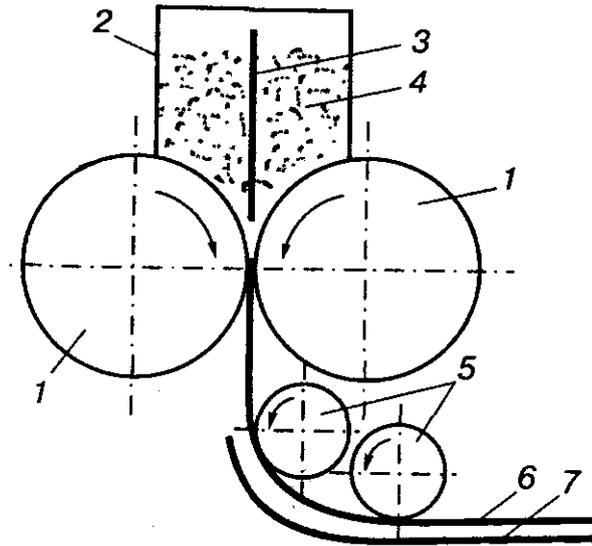


Схема листового прокатування порошків

1 - валки; 2 – бункер; 3 - перегородка; 4 - порошок; 5 – ролик; 6 - спресована стрічка; 7 - напрямлювач

Для підвищення щільності та поліпшення механічних властивостей спечену стрічку піддають багаторазовому прокатуванню з проміжними відпалами. Після три-чотирикратного прокатування і відпалювання механічні властивості підвищуються в кілька разів, а щільність досягає майже 100 %. Прокатування дає змогу отримувати з порошкових металів і сплавів однорідні за щільністю вироби будь-якої довжини, порівняно великі за шириною та дуже малі за товщиною.

Шлікерне лиття дає можливість одержувати вироби великих розмірів і складної форми без застосування тиску. Технологія цього методу така. Порошкову шихту певного складу суспендують у рідкому середовищі до консистенції сметани, а потім заливають у пористу керамічну або гіпсову форму відповідного профілю і

розмірів. З часом рідина виводиться із шихти крізь пори або вбирається матеріалом форми. При цьому частинки порошку механічно з'єднуються між собою і утворюють міцну заготовку з пористістю 30 - 60 %. Після такого "підсушування" її вилучають з форми, сушать і спікають. Для шлікерного лиття використовують тонкі порошки з частинками розміром 5 - 10 мкм. Масова частка порошкової шихти в суспензіях становить 40 - 70 %. Рідиною для приготування суспензії є водно-спиртові розчини полівінілу, вода з добавками хлориду заліза, соляної кислоти тощо.

Спикання та додаткова обробка заготовок. Для підвищення міцності відформовані з порошку заготовки піддають спіканню. Цю операцію здійснюють в печах електроопору або індукційних з нейтральним або захисним середовищем протягом 30 - 90 хв при температурі, що становить  $\frac{2}{3}$  від температури плавлення основного компонента. В процесі спікання відновлюються оксиди, розвиваються дифузійні явища, створюються нові контактні поверхні.

Якщо потрібно підвищити точність розмірів і ущільнення поверхневого шару, то спечені деталі піддають калібруванню.

Калібрування забезпечує надання деталям потрібних розмірів з точністю 6 - 7 класів, а також високої чистоти поверхні (7 клас шорсткості і вище). На рис. 6.8 наведено схему сумісного калібрування втулок за зовнішнім (матрицею 5) і внутрішнім (пуансоном 3) діаметрами.

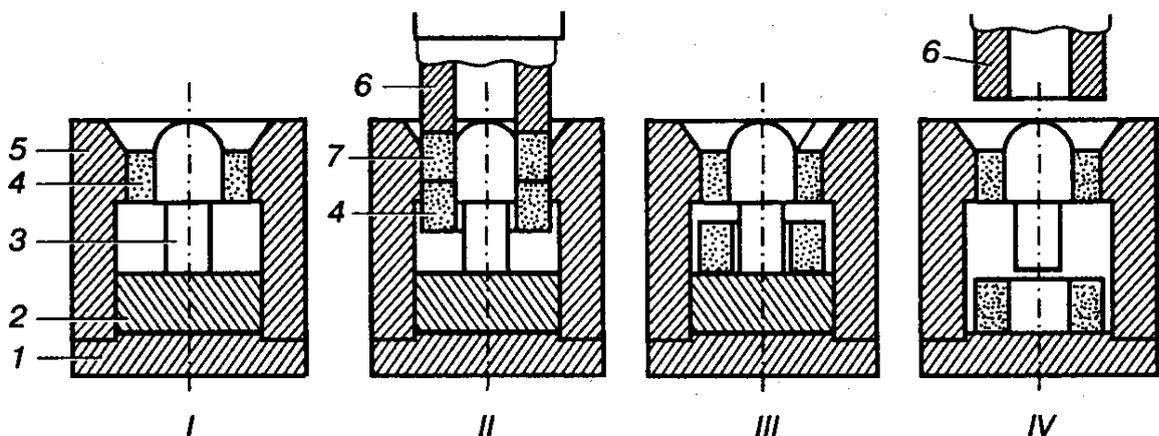


Схема калібрування втулки

Незакріплений (плаваючий) пуансон 3 фіксується оброблюваною втулкою 4 (I). При калібруванні (II) втулка 4 переміщується одночасно відносно матриці 5 і пуансона 3, який у цей момент утримується в матриці оброблюваною втулкою 4 і опорною плитою 2. Втулка 4 проштовхується крізь вічко матриці під дією верхнього пуансона 6 до наступної втулки 7, яка підлягає калібруванню. Після проштовхування першої втулки 4 (III) пуансон 3 утримується в матриці другою втулкою 7. При переміщенні опорної плити 2 на себе прокалібрована втулка 4 падає на підставку 1 (IV) і виштовхується із прес-форми при поверненні плити 2 у вихідне положення. Після цього цикли I - IV повторюються.

Деформація поверхневого шару при калібруванні супроводжується також наклепом і ущільненням. Ступінь деформації матеріалу в поверхневому шарі визначається допуском на калібрування, який становить від 0,2 - 0,4 до 0,5 - 1,6% від відповідного розміру.

Спечені заготовки можна обробляти різанням - точінням, фрезеруванням, свердлінням. Не слід застосовувати мастильно-охолоджуючі рідини (МОР), які можуть проникати в пори і спричиняти внутрішню корозію матеріалу. Якщо вихід пор на поверхню потрібно зберегти (наприклад, для вкладишів підшипників), то спечені деталі слід обробляти добре загостреним різальним інструментом. Спечені деталі із сплавів на основі заліза, титану, нікелю та інших металів можна також піддавати різним видам термічної або хіміко-термічної обробки.

Конструюючи вироби з порошків, не варто допускати значної різниці в товщині стінок, оскільки при великій усадці виріб може жолобитися; треба уникати виступів, пазів і отворів, розміщених перпендикулярно до напрямку пресування, гострих кутів, а в місцях спряження елементів виробу типу фланець-циліндр передбачати заокруглення радіусом не менше 0,25 мм; зовнішні та внутрішні різьби слід виконувати різанням; товщину стінок виробів передбачати не менше ніж 1 мм.

Продукція порошкової металургії дуже різноманітна. До основних її видів належать конструкційні, інструментальні, електротехнічні та інші матеріали.

Конструкційні порошкові матеріали - це насамперед антифрикційні та фрикційні матеріали, пористі матеріали для фільтрів.

### **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. У чому є цінність методів порошкової металургії?
2. Які хімічні елементи використовують для отримання порошків?
3. Яка ефективність та переваги методів порошкової металургії?
4. З чого складається технологічний процес отримання порошкових сплавів?
5. Для чого використовуються механічні методи отримання порошків?
6. Які існують способи одержання порошків?
7. У чому полягає суть фізико-хімічних методів отримання порошків?
8. Як здійснюється процес підготовки порошків для формування?
9. Які існують методи та схеми пресування виробів із порошків?
10. У чому суть схеми формування порошків екструзією?
11. Як здійснюється процес шлікерного лиття?
12. Особливості конструювання виробів із порошків?