

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

В.М. ПЛЕСКАЧ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і
композиційних матеріалів» (частина 2) для студентів
спеціальності 132 Матеріалознавство

спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
усіх форм навчання

2023

Конспект лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів» (частина 2) для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форм навчання / Укл.: В.М. Плескач – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. – 98 с.

Укладач: В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Рецензент: О.А.Мітяєв, проф., д.т.н.

Відповідальний за випуск: В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Затверджено на засіданні
кафедри композиційних
матеріалів, хімії та технологій,
протокол № 1 від 22.08.2023 р.

Рекомендовано до видання НМК
факультету БАД, протокол № 1
від 22.08.2023 р.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Обладнання для отримання порошків	6
1.1 Обладнання для отримання порошків механічними методами	6
1.2 Обладнання для отримання порошків фізико-хімічними методами	11
2 Обладнання для сепарування порошків	18
3 Змішувачі	19
3.1 Змішувачі періодичної дії	19
3.2 Змішувачі безперервної дії	21
4 Дозатори і живильники	23
5 Формотвірне обладнання	26
5.1 Преси	26
5.2 Преси спеціального призначення	30
5.3 Розрахунок технічних характеристик пресів	32
5.4 Молоти	34
5.5 Розрахунок технічних характеристик молотів	35
6 Формотвірна оснастка для пресів і молотів	36
6.1 Прес-форми для холодного пресування	36
6.2 Розрахунок прес-форм	40
6.3 Прес-форми спеціального призначення	47
7 Ізостати	51
7.1 Ізостати холодного пресування	51
7.2 Ізостати гарячого пресування	54
7.3 Ізостати пресування у товстостінних оболонках	57
8 Прокатування металевих порошків	59
9 Шлікерне формування	63
9.1 Шлікерне формування у пористих формах	63
9.2 Формування термопластичних шлікерів	64
9.3 Електрофоретичне формування	65
10 Мундштучне формування	66
11 Інжекційне формування	69
12 Імпульсне формування	71
12.1 Вибухове формування	71
12.2 Електрогідравлічне формування	73
12.3 Електромагнітне формування	73

12.4 Пневмомеханічне формування	74
13 Вібраційне формування	75
14 Адитивні технології	78
15 Обладнання для отримання захисних атмосфер	81
15.1 Обладнання для отримання водню	81
15.2 Обладнання для отримання конвертованого газу	82
15.3 Обладнання для отримання енто- і екзогазів	83
15.4 Обладнання для отримання дисоційованого аміаку	84
15.5 Використання аргону і гелію	85
15.6 Використання вакууму	85
16 Сушільне обладнання	86
16.1 Сушарки періодичної дії	86
16.2 Сушарки безперервної дії	87
16.3 Розпилювальні сушарки	88
17 Печі для спікання	91
17.1 Печі періодичної дії	91
17.2 Печі неперервної дії	93
17.3 Полуменеві печі	95
Література	96
Додаток А. Групи складності порошкових виробів	97
Додаток Б. Властивості сталей для виготовлення деталей прес-форм	98

ВСТУП

Конспект лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових та композиційних матеріалів» (частина 2) для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство спеціалізації «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» призначений для вивчення теоретичних знань, пов'язаних з обладнанням та оснасткою для виробництва порошкових матеріалів (ПМ). Протягом вивчення дисципліни студенти ознайомляться з конструкцією обладнання та оснастки, які використовуються у різних технологічних процесах виготовлення ПМ, з їх основними параметрами і можливостями за тих чи інших умов. Лекції сприятимуть набуттю практичних навичок з розрахунків виробничого обладнання та окремих вузлів оснастки з метою проектування або підбирання його при організації виробництва необхідної продукції. Вивчаючи цю дисципліну, студенти навчаються приймати оптимальні рішення на підставі теоретичних міркувань, аналізу технологічних залежностей та розрахунків.

1 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПОРОШКІВ

Виробництво порошків – перший етап порошкової металургії. Способи їх виробництва поділяються на механічні та фізико-хімічні. Механічні методи дозволяють отримувати порошки без помітної зміни хімічного складу. При отриманні порошків фізико-хімічними методами відбуваються процеси, пов'язані з глибокими хімічними перетвореннями вихідних матеріалів. В результаті отриманий порошок може помітно відрізнятися за хімічним складом від вихідного матеріалу.

1.1 Обладнання для отримання порошків механічними методами

1.1.1 Розпилювачі рідких металів.

Робота розпилювачів рідких металів ґрунтується на подрібнюванні струменя рідкого металу газом або рідиною високого тиску або механічним способом.

Типова *газострумінна установка* складається з плавильного агрегату, підігрівного металоприймача, камери розпилювання, вузла охолодження і збірника порошку.

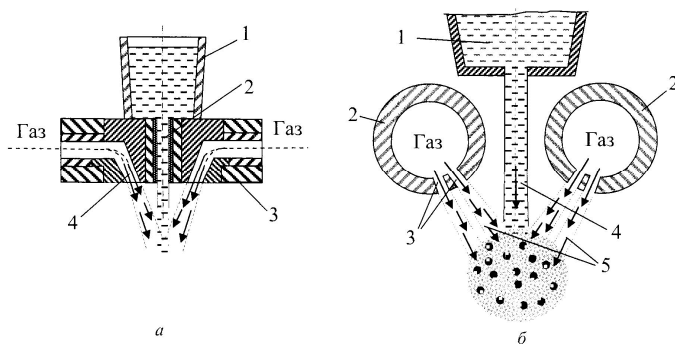
Тип *плавильного агрегату* залежить від складу і властивостей вихідного металу. При температурі до 700⁰С це можуть бути печі тигельного типу, в яких за необхідності створюється захисна атмосфера. Якщо метал має більшу температуру плавлення (до 1600⁰С), використовуються індукційні, електродугові, плазмові та інші плавильні агрегати.

Металоприймач призначений для утримування підготовленого до одночасного зливання металу (до 700 кг) при достатньо високій температурі. Має відповідну футеровку і нагрівається, як правило, газовими пальниками. Металоприймач знаходиться у верхній частині установки по осі камери розпилювання.

Камера розпилювання – водоохолоджуваний циліндр з нержавіючої сталі діаметром 2,0...2,5 м. Висота падіння частинок у камері – 4,5...7,0 м.

Між металоприймачем і камерою розпилювання знаходиться *форсуночний вузол*. Газ подається на струмінь розплаву з усіх боків по контуру під кутом до струменя 50...60⁰ (рис. 1.1). Мінімальний діаметр струменя металу залежить від його температури і становить від 5...6 до 8...9 мм.

Газом-розпилювачем може служити повітря, аргон, азот та інші. У деяких випадках енергоносієм використовують воду.



а – дискового типу: 1 – металоприймач; 2 – струмінь розплаву; 3 – форсунка;
4 – сопло;

б – трубчастого типу: 1 – металоприймач; 2 – трубовід; 3 – отвори для виходу газу; 4 – струмінь розплаву; 5 – струмені газу

Рисунок 1.1 – Схема форсуночного вузла

До нижнього фланця камери розпилювання пристиковується вузол охолодження, який служить для охолодження порошку до температури нижче 100°C , щоб виключити спікання частинок. Вузол охолодження складається з двох конусів таким чином, щоб рівномірно розподілити порошок по сітці нижнього конуса. Назустріч порошку подається газ, який охолоджує його.

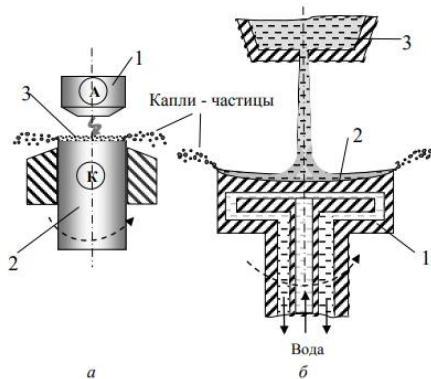
Збірник порошку – герметичний бак, який об'ємом дорівнює об'єму металоприймача. У ньому можна створювати вакуум або атмосферу із захисних газів.

Рідинострумінні установки принципово працюють аналогічно газострумінним. Особливість полягає у тому, що рідина завдяки більшій густині має значно більшу кінетичну енергію руйнування струменя металу.

Форсуночний пристрій має декілька гідравлічних форсунок. Рідина подається під тиском $8 \dots 10$ МПа. Камера розпилювання має простішу конструкцію, внутрішній діаметр до 2 м і висоту $5 \dots 6$ м. У ній утворюється пульпа – суміш порошку і рідини. Далі пульпа попадає у *гідроциклон*, де порошок відділяється від рідини, просушується і збирається у герметичний бак.

Відцентрові розпилювачі використовуються двох типів: безтигельні і тигельні.

Безтигельні розпилювачі (рис. 1.2, а) – це заготовка з матеріалу порошку у вигляді добре збалансованого стрижня. Газова турбіна обертає його зі швидкістю до 20000 об./хв. Торець плавиться електричною дугою, утворюючи плівку розплавленого металу у 20...30 мкм завтовшки. При розпилюванні утворюються частинки розміром 100...200 мкм.



- а – безтигельний: 1 – протоелектрод; 2 – стрижень з матеріалу порошку;
3 – розплавлений метал;
б – тигельний: 1 – водоохолоджуваний диск; 2 – розплавлений метал;
3 – металопріймач;

Рисунок 1.2 – Схеми відцентрових розпилювачів

Тигель розпилювача виготовляють з жароміцної сталі. Він встановлюється на товстому водоохолоджуваному диску, який обертається зі швидкістю до 24000 об./хв. Метал плавиться або збирається у металопріймачі і струменем виливається на увігнуту поверхню тигля, утворюючи плівку до 100 мкм завтовшки.

1.1.2 Подрібнювально-молоткове обладнання.

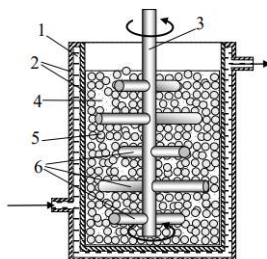
Подрібнювально-молоткове обладнання служить для отримання порошків з сухих матеріалів. Воно поділяється на дробарки і млини. Первинне подрібнювання проводиться *дробарками*: щокowymi (отримуваний продукт розміром до 1...4 мм), молотковими, валковими (частинки розміром до 0,2...0,5 мм), конусними (продукт до 1...2 мм). *Млини* здійснюють подальше подрібнювання до розміру

частинок у декілька мкм. Найчастіше використовуються млини: кульові барабанні, кульові вібраційні, планетарно-відцентрові та ін.

Конструкція і робота дробарок і млинів детально розглянута у «Конспекті лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів (частина 1)», розділ 2, с. 18.

Для виготовлення металевих порошків використовуються й додаткове наступне обладнання.

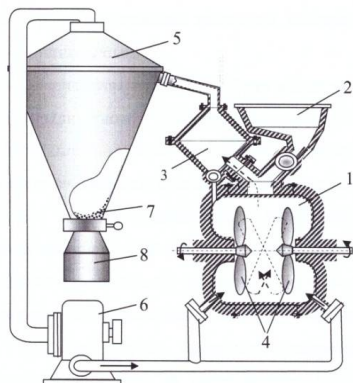
Аттритори (рис. 1.3) – це різновид кульових млинів. У вертикальний нерухомий барабан завантажуються кулі діаметром 4...10 мм. Всередині по осі обертається мішалка зі швидкістю 100 об./хв. Циркуляція куль викликає стирання вихідного матеріалу. Внаслідок розмелювання отримують дисперсний порошок у декілька разів швидше, ніж у звичайних кульових млинах.



1 – корпус; 2 – водоохолоджувана стінка; 3 – вал мішалки; 4 – вихідний матеріал; 5 – кулі; 6 – лопаті мішалки

Рисунок 1.3 – Схема аттритора

У робочій камері **вихрового млина** (рис. 1.4) розташовані пропелери, що обертаються у протилежних напрямках з однаковими швидкостями (порядку 3000 об./хв.). Насосом у робочу камеру подається газ, яким отримані частинки порошку видаляються у приймальну камеру. Регулюючи швидкість потоку, отримують частинки розміром 60...350 мкм.

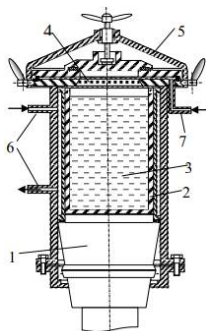


- 1 – робоча камера; 2 – завантажувальний бункер; 3 – приймальна камера;
 4 – пропелери; 5 – відсадочна камера; 6 – газований насос; 7 – порошок;
 8 – приймальна камера

Рисунок 1.4 – Схема вихрового млина

Струменеві млини забезпечують надтонке подрібнювання матеріалу за рахунок енергії потоків стисненого газу (повітря, азот та ін.) або перегрітої пари, які можуть рухатися з надзвуковою швидкістю. Отриманий порошок (розміром від 1 до 5 мкм) видаляється з робочої камери потоком газу або пари.

В **ультразвукових установках** (рис. 1.5) руйнування



- 1 – випромінювач магнітостриктора; 2 – змінний стакан; 3 – суспензія порошку; 4 – сітка; 5 – кришка; 6 – патрубки охолоджувальної води; 7 – патрубок підводу газу

Рисунок 1.5 – Схема ультразвукової установки

частинок порошку відбувається під дією енергії, яка вивільнюється при миттєвому руйнуванні кавітаційних пухирів, а також за рахунок співударяння частинок між собою. Як робоча рідина найчастіше використовується вода. Частота ультразвукових коливань – від 15 до 45 кГц. Звичайний час диспергування становить від 10 до 30...60 хв.

1.2 Обладнання для отримання порошків фізико-хімічними методами

Способи отримання порошків фізико-хімічними методами поділяються на два напрямки: за рахунок хімічних реакцій і за допомогою електролізу.

1.2.1 Печі для відновлення хімічних сполук газами і твердим вуглицем.

Шахтні печі (рис. 1.6) мають прямокутний кожух висотою до

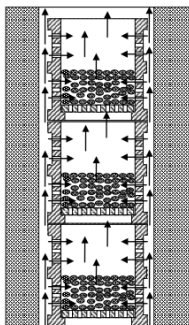


Рисунок 1.6 – Схема розташування окатків у перфорованих стаканах шахтної печі

13 м, футерований шамотом. Усередині знаходиться сталевий реактор діаметром 5...6 м, навколо нього – ніхромовий нагрівач. Вихідна шихта у вигляді дрібних окатків з оксидів заліза діаметром 8...12 мм завантажується зверху, а газ-відновлювач (H_2 , і суміш H_2 і CO) вводять знизу на рівні холодильника. Відновлення відбувається при температурі $900^{\circ}C$. Продукт отримують у вигляді залізної губки, яку потім подрібнюють розміру до 0,5 мм.

Муфельна піч становить горизонтальну вогнетривку керамічну коробку з перерізом отвору 800x900 мм. Усередині її прокладені напрямні для пересування піддонів з брикетами. Брикети складаються

з рудного концентрату, окалини та деревного вугілля, сажі, нафтового коксу тощо. Ззовні піч нагрівається газовими пальниками або електричними спіралями.

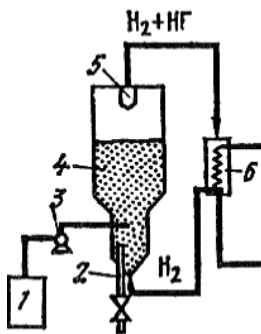
Піддони з шихтою періодично проштовхуються вздовж печі. Назустріч руху піддонів безперервно подається газ-відновлювач. Відновлення відбувається при температурі $1100...1150^{\circ}\text{C}$ протягом 9...10 год.

Тунельні печі використовуються для виробництва залізного порошку з оксидної сировини у великих обсягах. Вони подібні до муфельних печей, але значно більшого розміру: ширина – 3,5 м, довжина – 120...220 м. Піч має по довжині три зони: вхідну, робочу з температурою $1180...1200^{\circ}\text{C}$ і зону охолодження. Вагонетки з карборундовими капсулями діаметром 350 мм і висотою до 400 мм, завантаженими оксидним концентратом і вуглецевим відновлювачем, пересуваються вздовж тунелю конвеєром або штовхачами. Швидкість руху вагонеток через піч 1...2 м/год., час перебування у робочій зоні – до 130 год.

1.2.2 Реактори для отримання порошків.

Реактори киплячого шару використовуються для отримання порошків тугоплавких металів (W, Mo, Nb, Ta).

Реактор – це циліндр з нержавіючої сталі (рис. 1.7). У нижній



1 – випаровувач; 2 – трубка для вивантажування порошку металу;
3 – насос; 4 – реактор киплячого шару; 5 – фільтр; 6 – теплообмінник
Рисунок 1.7 – Схема установки для відновлення порошків у киплячому шарі

частині реактора розташована сітка з матеріалу, стійкого до реагентів. На сітку вводять як «затравку» дрібний порошок металу, який

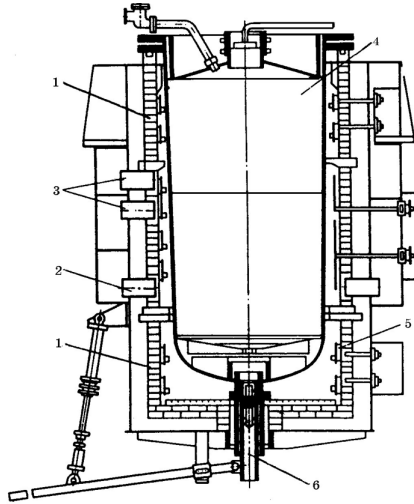
збираються отримувати. Знизу через сітку подають водень або суміш аргону з воднем зі швидкістю, достатньою до створення псевдозрідженого стану порошку. Після цього реактор нагрівають до необхідної температури (залежно від виду металу). З випарнику у нижню частину реактора подають пари галогеніду металу. Відпрацьована суміш аргону і водню та утвореного HF відсмоктується з реактора, а порошок періодично видаляється через патрубок у нижній частині реактора. Звичайна ступінь відновлення – 98...99%.

Плазмохімічний реактор – водоохолоджуваний циліндр діаметром 1,5 м з плоскою кришкою і конусним дном. У центрі кришки плазмотрон. У плазмотроні потоком аргону, що проходить через електричну дугу, створюється плазмовий струмінь з температурою 4000...10000⁰С. У струмінь вводиться відновлюваний продукт (оксид) і газ-відновлювач (найчастіше водень). Реакція відновлення відбувається у пароподібному стані. Під дією газових потоків порошок зразу розділяється на 2 фракції: крупні частинки падають на дно реактора, дрібні осідають на рукавних фільтрах. Отримують вольфрамний порошок з середнім розміром частинок 0,05 мкм.

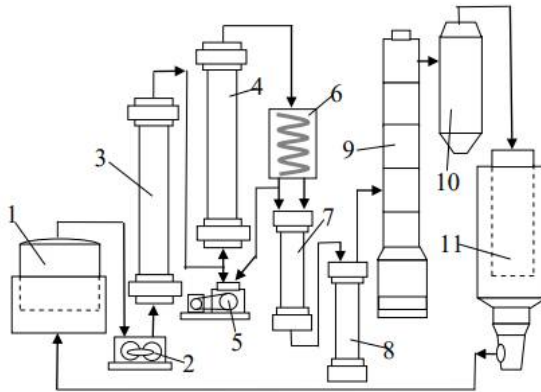
Металотермічні реактори використовують для отримання титанового порошку. Герметичний реактор (рис.1.8) з нержавіючої сталі діаметром 0,85...2,00 м, висотою 1,8...3,0 м заповнюється інертним газом і нагрівається до робочої температури 900⁰С.

У нагрітій реактор заливають рідкий магній, а потім вводять рідкий тетрахлорид титану. Внаслідок реакції на стінках реторти осідає титанова губка, дихлорид магнію накопичується внизу. По закінченню процесу реактор виймають з печі і охолоджують. Дихлорид магнію зливається через вузол зливання, а титанову губку збивають зі стінок, подрібнюють і очищують.

Реактори розкладання-відновлення хімічних сполук застосовують для отримання високочистих порошоків заліза, нікелю, кобальту. Процес ґрунтується на отриманні з сировини (оксидів) спочатку карбонільних сполук (напр., Fe(CO)₅) з наступним розкладанням їх для отримання чистого металу. Установка для отримання металу (Me) з карбонільних сполук наведена на рис. 1.9.



1 – нагрівачі; 2 – колектор обдуву; 3 – термомпари; 4 – реактор;
5 – кріпильні деталі; 6 - вузол зливання дихлориду магнію
Рисунок 1.8 – Апарат металотермічного відновлення титану

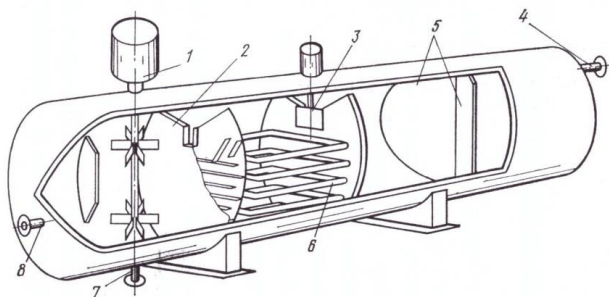


1 – газгольдер з CO; 2 – компресор; 3 – ресивер; 4 – колона синтезу карбонілу;
5 – циркуляційний насос; 6 – холодильник; 7 – збірник сконденсованого карбонілу;
8 – збірник сирого карбонілу; 9 – ректифікаційна колона; 10 – збірник-
випаровувач готового карбонілу; 11 – дисоціатор карбонілу
Рисунок 1.9 – Схема установки для отримання карбонільного металу

На першому етапі газ-відновлювач (CO), підігрітий до температури 150...200⁰С, подають у колону синтезу. Колона синтезу становить циліндр висотою 9...12 м, діаметром 0,7...1,0 м і зі стінками 10...15 см завтовшки. Утворений при синтезі карбоніл Ме конденсується в холодильнику, а газ CO, що утворився, циркуляційним насосом повертають у колону синтезу. Конденсований карбоніл очищають і піддають дистиляції у ректифікаційній колоні.

На другому етапі пара карбонілу попадає у дисоціатор – колону висотою 5...6 м, де вона поступово рухається по гвинтовій напрямній і розкладається. Частинки порошку випадають вниз, а газ CO перекачується у газгольдер.

Гідрометалургічні реактори служать для отримання порошків міді, кобальту, нікелю з розчинів солей. Основними процесами у робочому об'ємі автоклаву є перемішування реагентів, їх контактування і здійснення реакцій між ними. Вихідний розчин солей відповідного металу (це солі Cu, Co, Ni) заливається у реактор-автоклаву (рис. 1.10), в якому створюються задані температура і тиск.



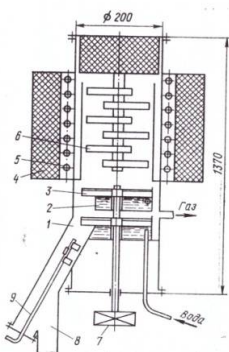
1 – привід мішалки; 2 – міжкамерна перегородка; 3 – затвор; 4 – введення сировини; 5 – відбивач; 6 – змійовик; 7 – патрубок введення газу;
8 – вивантажувач продукту

Рисунок 1.10 –Горизонтальний реактор-автоклаву

Розчин продувається газом-відновником (наприклад, воднем). Робочий режим проведення реакцій: тиск 2,5...4,5 МПа, температура 150...200⁰С. Звичайний внутрішній об'єм автоклавів 60...120 м³. Для інтенсифікації в автоклаві працює мішалка. В результаті реакцій отримують пульпу, яку промивають, фільтрують і сушать. Вихід сухого порошку – 99,7...99,9%; розмір частинок – від 2...3 до 15...20 мкм.

Газофазні реактори (рис. 1.11) служать для отримання порошків металів з низькою температурою плавлення (Al, Ca, Mg). Процес ґрунтується на випаровуванні металів з поверхні розплаву з подальшим конденсуванням на холодній поверхні. Реактори і режим суттєво залежать від металу.

Реактор має зовнішній індукційний нагрівач; всередині внизу 2 полиці-кристалізатори, охолоджувані водою. Над ними на осі – 6 тарілей-випарників з грудками металу, що випаровується. У реактор подається інертний газ, який переносить пару металу на кристалізатор. Нагрівачі створюють робочу температуру 1100... 1200⁰С. Продуктивність апарата – 80 кг/добу.

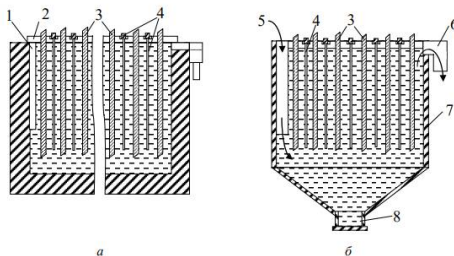


- 1 – реактор; 2 – полка кристалізатора; 3 – ножі, що зчищають порошок;
 4 – теплоізоляція; 5 – нагрівач; 6 – тарілі-випарники;
 7 – механізм приводу ножів; 8 – бункер; 9 – скребок
 Рисунок 1.11 – Схема газофазного реактора

1.2.3 Електролізери

Електролізери для електролізу розчинів використовуються для отримання порошків міді, нікелю, заліза та інших металів. Процес ґрунтується на тому, що при проходженні струму через електроліт анод розчиняється, а його матеріал переноситься на катод.

Ванни електролізерів можуть бути ящикового і бункерного типу (рис. 1.12) з деревини, бетону, сталі. Робоча поверхня



1, 5 – кишеня для заливання електроліту; 2 – проміжна шина; 3 – анод;
 4 – катод; 6 – лоток для зливання електроліту; 7 – корпус електролізера;
 8 – пристрій для вивантажування порошку

Рисунок 1.12 – Схема ванни електролізера ящикового (а) і бункерного (б) типу

футерується кислотостійким матеріалом (вініпласт, свинець). Об'єм ванни 10 м^3 ; в електричне коло включається 15...25 ванн одночасно. Режим електролізу визначається щільністю струму - $1,5...1,8 \text{ кА/м}^2$; напруга - $1,3...1,5 \text{ В}$, температура електроліту - $48...55^\circ\text{С}$. Час нарощування порошку на електродах залежно від їх конструкції становить від 1...2 до 7...8 год.

Електролізери для електролізу розплавів служать для отримання порошків титану і танталу. Герметичний ніхромовий тигель служить катодом. По осі тигля розташований прожністий графітовий анод з отворами у стінках. Електролітом служить розплав солей K_2TaF_7 , і фториду і хлориду калію для забезпечення рідиноплинності та електропровідності. Електроліз ведуть при температурі $720...750^\circ\text{С}$, щільності струму $12...16 \text{ кА/м}^2$. Процес припиняється, коли 2/3 об'єму тигля заповнюється катодним осадом. Осад розплавляють в аргоні з наступним випаровуванням у вакуумі.

2 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ПОРОШКІВ

Сепарування – це процес поділу подрібнених металевих порошоків на фракції за розміром частинок. Для цього використовуються різного роду грохоти, сита та установки повітряної сепарації. Грохоти служать для первинного розділення частинок достатньо великого розміру. Вібросита різноманітної конструкції дозволяють розсіювати отриманий порошок на декілька (до 9) фракцій одночасно. Установки повітряної сепарації виділяють найменші за розмірами частинки.

Конструкція і робота сепараторів детально розглянута у «Конспекті лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів (частина 1)», розділ 3, с. 27.

3 ЗМІШУВАЧІ

Мета змішувачів полягає у тому, щоб створити суміш заданого складу і властивостей. У порошковій металургії переважно використовуються механічні змішувачі періодичної та безперервної дії. Крім спеціальних змішувачів для змішування використовуються й млини, які використовуються звичайно для подрібнення порошків.

3.1. Змішувачі періодичної дії

3.1.1. У *млинів*, які використовуються для змішування, не змінюється конструкція, змінюється лише режим оброблювання.

3.1.2. *Барабанні змішувачі* – найпоширеніші у порошковій металургії. Їх спільною рисою є корпус різної конфігурації, що обертається навколо певної осі. Внутрішня поверхня барабанів гладка або з ребрами для сприяння перемішуванню.

Форма барабанів може бути: циліндрична, кубічна, конічна, тетраедрна тощо. Вісь обертання розташовується таким чином, щоб при обертанні змусити порошок переміщатися у різноманітних напрямках для підвищення якості змішування.

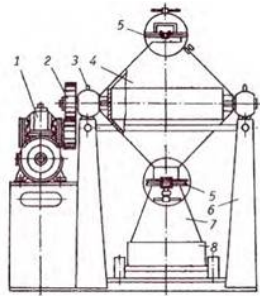
Основою *змішувачів зі зміщеною віссю обертання* (рис. 3.1) є циліндр або куб, вісь обертання якого проходить по діагоналі до осі симетрії. Об'єм барабана – 350...1000 л, швидкість обертання – 50 об./хв.



Рисунок 3.1 - Змішувачів зі зміщеною віссю обертання

Двоконусні змішувачі становлять зварну ємність з двох з'єднаних своїми великими основами зрізаних конусів (рис. 3.2). Корпус обертається навколо осі, перпендикулярної до осі конусів. Зверху і знизу конусів отвори, закриті шибєрними заслінками. Внутрішній об'єм змішувачів – 100...3000 л, швидкість обертання не

перевищує 40...50 об./хв. Кількість завантаженої суміші – не більше третини об'єму змішувача.



1 – редуктор; 2 – передача; 3 – підшипник; 4 – корпус; 5 – кришка люка;
6 – стійка; 7 – розвантажувальний бункер; 8 – візок для вивантаженого порошку
Рисунок 3.2 – Схема двоконусного змішувача

V-подібний змішувач складається з металевих труб діаметром 250...300 мм, зварених під кутом, які мають знімні кришки. Швидкість обертання – 60 об./хв.

Іноді використовуються *коливальні змішувачі* (рис. 3.3). Його корпус утримується міцною виделкою; він може коливатися і у площині виделки, і виделкою обертатися у два боки на кут 90° .



Рисунок 3.3 – Коливальний змішувач

3.1.3 *Шнекові змішувачі* поділяються на два види: барабанні та конічні.

Барабанний шнековий змішувач має замкнений корпус, у якому розташовані паралельно два шнеки, які обертаються назустріч один одному. Під корпусом знаходиться вібратор. Вібрація підвищує якість

змішування. Звичайний об'єм таких змішувачів – 175...900 л, швидкість обертання шнеків – 20...50 об./хв.

Конічний шнековий змішувач (рис. 3.4) має конічний корпус, у якому знаходиться поперечина з двома шнеками. Поперечина обертається навколо вертикальної осі, і у той же час обертаються обидва шнеки. Ці змішувачі мають високу ефективність змішування.

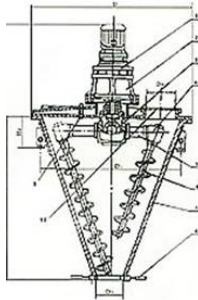
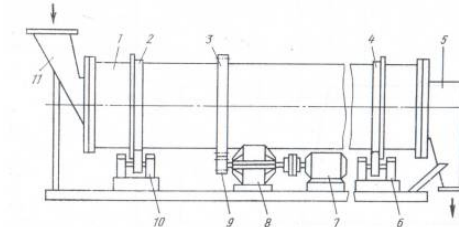


Рисунок 3.4 – Схема конічного шнекового змішувача

3.1.4. *Відцентровий змішувач* має циліндричний корпус, усередині якого знаходиться відкритий порожнистий конус, обернений більшою основою вгору, що обертається навколо своєї осі. Суміш засипається всередину конуса. При його обертанні суміш підіймається по внутрішній поверхні конуса і переливається через край зовнішній корпус. За рахунок обертання конуса створюється круговий рух потоку суміші. Надлишок суміші знову переливається через край всередину конуса, і процес повторюється.

3.2. Змішувачі безперервної дії

3.2.1. *Барабанний змішувач* безперервної дії – це горизонтальний циліндр, що обертається на роликах (рис. 3.5). Суміш завантажується з одного боку і після змішування вивантажується з іншого. Для покращення змішування барабан встановлюється під кутом нахилу до 4° до горизонту. Для збільшення швидкості руху суміші до внутрішньої поверхні барабана приварюється насадка у вигляді гвинтової стрічки.



1 – барабан; 2, 4 – бандажі; 3, 9 – зубчаста пара; 5 – жолоб вивантажування;
6, 10 – ролики; 7 – електродвигун; 8 – редуктор; 11 – жолоб завантажування

Рисунок 3.5 – Барабаний змішувач безперервної дії

3.2.2. *Черв'ячно-лопатевий змішувач* складається з двох секцій однакової конструкції: кожна має коритоподібний корпус, у якому розміщені паралельно два шнеки, з лопатями під кутом 45° до осі шнеків. Шнеки обертаються таким чином, щоб уся суміш рухалася у одному напрямку. Компоненти спочатку поступають у верхню секцію, у ній відбувається сухе змішування. У нижній секції до суміші додаються рідкі компоненти. Готова суміш видається безперервно.

4 ДОЗАТОРИ І ЖИВІЛЬНИКИ

Призначення дозатора – створити *засипку* – порцію порошку для заповнення матриці. Її величина визначається за формулою:

$$Q = \rho_k V(1 - \Pi/100) k, \quad (4.1)$$

де ρ_k – густина компактного матеріалу виробу відповідного хімічного складу, кг/м^3 ; V – об'єм порошкового виробу, м^3 ; Π – передбачувана пористість виробу, %%; k – коефіцієнт втрати порошку (1,1...1,4).

Якщо матеріал виробу – суміш порошків різних компонентів, густина компактного виробу визначається за формулою:

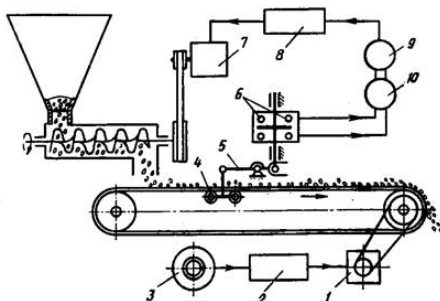
$$\rho_k = 100 / \sum_1^n (a_i / \rho_i), \quad (4.2)$$

де a_i - вміст окремого компонента, %% (мас); ρ_i – густина відповідного компонента, кг/м^3 .

Дозування може бути за масою або за об'ємом залежно від типу виробництва (одиничне найчастіше – за масою, масове – за об'ємом). Дозатори можуть бути пов'язані з прес-формою або працювати окремо.

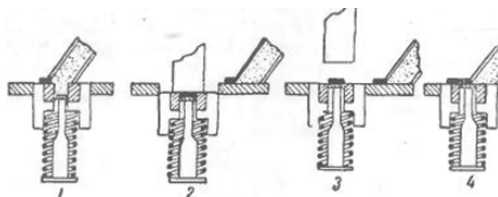
При дозуванні за масою засипку зважують вручну або автоматично. Відбір засипки і завантажування її у матрицю прес-форми здійснюється за допомогою зважувальної ємності, пов'язаною з коромислом ваг. Автоматичним зважуванням можуть дозувати засипки масою від 0,2 до 80 кг. Точність дозування $\pm(0,2...0,3)\%$. Точніше дозування забезпечують автоматичні системи, що працюють за допомогою ЧПК. Прикладом такої системи є стрічковий ваговий дозатор (рис. 4.1), який забезпечує точність дозування за рахунок одночасного регулювання швидкості руху стрічки і подачі шнекового живильника. Дозатор не пов'язаний з конструкцією преса. Завдяки цьому на стрічці утворюється постійний шар порошку заданої товщини.

Об'ємне дозування простіше, але менш точне. Необхідна кількість порошку забезпечується або спеціальною ємністю-міркою, або шляхом заповнення порошком підготовленої порожнини матриці за допомогою касети-живильника.



1 – двигун руху стрічки; 2 – пульт керування рухом стрічки; 3 – штурвал регулювання; 4 – вагова платформа; 5 – коромисло; 6 – контакти регулювання режиму; 7 – двигун шнека подачі порошку; 8 – пульт керування шнеком; 9 – установка швидкості шнека; 10 – перемикач
Рисунок 4.1 – Схема стрічкового вагового дозатора

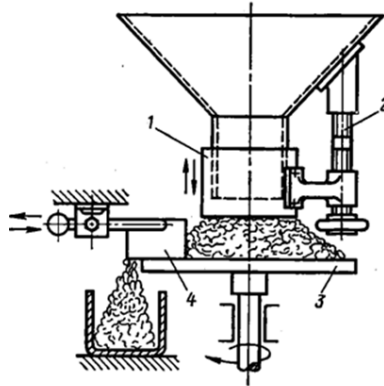
Касета-живільник рухається по торцю матриці, заповнює її порошком, а після пресування зіштовхує пресовку з торця матриці (рис. 4.2). Рух касети узгоджується з рухом робочих органів преса, що здійснюють пресування.



1 – заповнення матриці порошком; 2 – пресування; 3 – виштовхування пресовки; 4 – зіштовхування пресовки живільником
Рисунок 4.2 – Схема об'ємного дозування

У деяких випадках використовується автоматичне об'ємне дозування. На рис. 4.3 показаний дозатор, продуктивність і точність якого регулюється частотою обертання стола і положенням скребка.

Умовою правильної роботи живільників і точного дозування є висока плинність порошкової суміші, недопущення сегрегації порошку за складом, добра герметизація дозаторів для уникнення зайвих втрат.



1 – манжета; 2 – гвинт; 3 – стіл; 4 – скребок
Рисунок 4.3 – Схема дискового дозатора

5 ФОРМОТВІРНЕ ОБЛАДНАННЯ

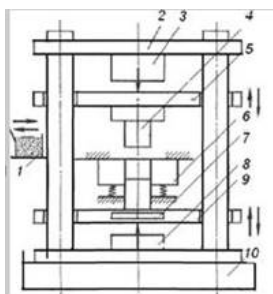
Призначення формотвірного обладнання полягає у тому, щоб з маси вільно насипаного або попередньо сформованого порошку створити компактний виріб (пресовку) заданих форми і розмірів. Воно повинно забезпечити достатні тиск, хід і швидкість пресування, а також узгодженість складових рухів обладнання і оснастки.

За характером деформування обладнання поділяється на преси і молоти, а за характером оснащення – на спеціалізоване і неспеціалізоване.

На пресах деформування здійснюється при постійному тиску з рівномірною швидкістю деформування. Молоти – машини ударної дії, деформування відбувається за рахунок кінетичної енергії, накопиченої робочим інструментом до моменту удару. Спеціалізовані преси мають постійну оснастку і високий ступінь автоматизації. Вони призначені для виготовлення певного типу виробів. Неспеціалізовані преси кожного разу переналагоджуються для випуску нової продукції.

5.1 Преси

За джерелом енергії преси поділяються на механічні і гідравлічні. Незалежно від типу преси мають такі основні елементи (рис. 5.1): станину, верхню і нижню плити (траверси), на яких закріплені верхній і нижні пуансони, встановлені прес-форма, касета-живильник.

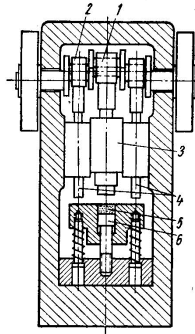


- 1 – касета-живильник; 2 – станина; 3 – верхній привід; 4 – верхній пуансон;
5 – верхня траверса; 6 – прес-форма; 7 – виштовхувач; 8 – нижній привід;
9 – нижня траверса; 10 – фундамент

Рисунок 5.1 – Принципова схема преса для пресування порошків

5.1.1. *Механічні преси* за способом створення зусилля поділяються на кривошипні, ексцентрико-кулачкові, кривошипно-колінчасті, фрикційні та інші; за призначенням (крім виробничих) – на преси для калібрування, гарячого пресування, ротаційні автомати та ін.

Кривошипні преси мають кривошип (ексцентрик) який обертається навколо осі і через шатун рухає верхню плиту з пуансоном. Кут повороту при пресуванні 180° . На рис. 5.2 наведена



1 – основний кривошип; 2 – допоміжний кривошип; 3 – пресовий повзун;
4 – відтискні пуанسونи; 5 – матриця; 6 – нижній пуансон

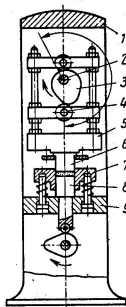
Рисунок 5.2 – Схема кривошипного преса

схема багатоколінчастого преса, при роботі якого виштовхування пресовки здійснюється за допомогою відтискних і нижнього пуансонів. Максимальне зусилля пресування 1,2 МН, максимальна продуктивність 40...50 виробів за хвилину. Недолік: неможливість двобічного пресування.

У *ексцентрико-кулачкових пресів* рух пуансону задає головний (верхній) кулачок (рис.5.3), не пов'язаний жорстко з нижнім, який забезпечує виштовхування пресовки. Кут повороту верхнього кулачка при пресуванні може бути 200° , що дає більший час витримки пресовки під тиском. Ступінь ущільнення регулюється за рахунок профілювання кулачка.

Особливість *кривошипно-колінчастих пресів* (рис. 5.4) полягає у тому, що кривошип і шатун винесені за вісь повзуна. Зусилля пресування передається за рахунок важільного трикутника. Одна його

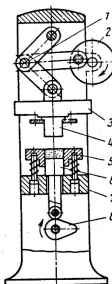
ланка впирається у нерухому поперечину станини, а друга зв'язана з повзуном. Завдяки цьому створюється більше зусилля пресування при меншій енергії приводу.



1 - станина; 2 - вісь кулачка; 3 - головний кулачок; 4 - кут повороту кулачка; 5 - верхня траверса; 6 - верхній пуансон; 7 - матриця; 8 - нижній пуансон; 9 - нижня траверса

Рисунок 5.3 – Схема ексцентрико-кулачкового преса

Кривошипно-колінчасті преси розвивають зусилля пресування у декілька меганьютон.

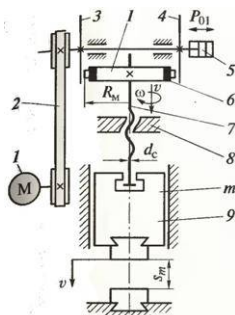


1 - вал кривошипа; 2 - кривошипно-важільний трикутник; 3 - верхня траверса; 4 - пуансон; 5 - матриця; 6 - пружини; 7 - нижня траверса; 8 - кулачок

Рисунок 5.4 – Схема кривошипно-колінчастого преса

У *фрикційно-гвинтових пресів* рух повзуна з пуансоном здійснюється за рахунок обертання вертикального гвинта (рис.5.5). Гвинт отримує привід через маховик від фрикційних дисків або конусів, що обертаються електродвигуном навколо горизонтальної

осі. При контакті з одним (наприклад, лівим) диском маховик а з ним і гвинт обертається в один бік, рухаючи повзун вниз. Після пересування дисків вздовж осі вже другий (правий) диск обертає маховик в інший бік, і повзун піднімається.



1 – електродвигун; 2 – пас; 3 – лівий диск; 4 – правий диск; 5 – привід переміщення дисків; 6 – маховик; 7 – гвинт; 8 – станина; 9 – повзун

Рисунок 5.5 – Схема фрикційно-гвинтового преса

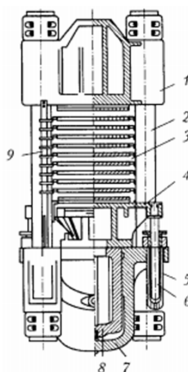
Якщо привід гвинта здійснюється від дисків, швидкість наприкінці пресування поступово збільшується, якщо від конусів – залишається постійною.

5.1.2. *Гідравлічні преси*, які використовуються у порошковій металургії, принципово не відрізняються від гідравлічних пресів, конструкція і робота яких розглянута у «Конспекті лекцій з дисципліни «Обладнання та оснастка виробництв порошкових і композиційних матеріалів (частина 1)», розділ 5, с. 35.

Проте у порошковій металургії найчастіше використовуються вертикальні преси верхнього пресування, які у нижній своїй частині мають циліндр і пуансон виштовхування.

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

Крім того, для пресування металевих порошків іноді використовують так звані *поверхові* преси (рис. 5.6), особливість яких полягає у тому, що між верхньою і нижньою траверсами встановлюється декілька плит, на яких у декілька поверхів можна розмістити значну кількість однотипних прес-форм, що суттєво підвищує продуктивність праці.



- 1 – архитрав; 2 – колона; 3 – поверхові плити; 4 – рухомий стіл;
 5 – допоміжний циліндр; 6 – допоміжний плунжер; 7 – робочий циліндр;
 8 – робочий плунжер; 9 – рейка

Рисунок 5.6 – Схема поверхового гідравлічного преса

5.2 Преси спеціального призначення

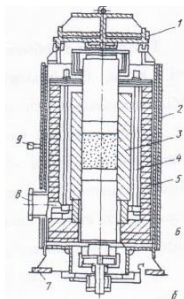
5.2.1. *Калібрувальні преси* працюють як правило, як звичайні кривошипні або ексцентрикові преси. Заготовкою для них служить не порошок, а сформована пресовка.

Головна особливість конструкції – підвищена жорсткість всіх елементів конструкції, постійний хід повзуна незалежно від розмірів виробу, автоматизація завантажування заготовок та їх виштовхування. Для цього вони мають спеціальні накопичувачі заготовок, вібробункери і пристрої для орієнтації заготовок при подачі їх у прес-форму.

5.2.2. На *пресах гарячого пресування* деформування здійснюється при температурі вище температури рекристалізації основного порошку у захисній атмосфері. Майже всі преси для гарячого пресування є гідравлічними. Важливим для пресів гарячого

пресування є спосіб нагрівання порошку до максимальної температури та атмосфера у камері нагрівання.

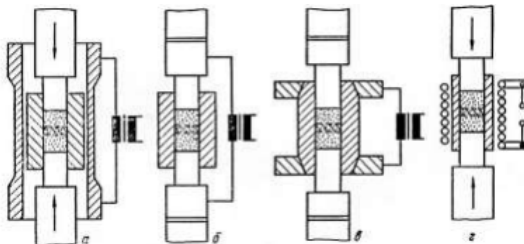
Пресування здійснюється у закритій камері, де крім власне прес-форми знаходяться нагрівачі, теплозахисна ізоляція та інші пристрої. (рис. 5.7). У робочій камері може створюватися навантаження до 2 МН і температура до 2000⁰С. При цьому досягається пористість 1...3%.



- 1 – кришка; 2 – корпус; 3 – прес-форма; 4 – нагрівач; 5 – теплоізоляційна футеровка; 6 – шток; 7 – вакуумне ущільнення; 8 – патрубок вакуумної системи;
9 – патрубок

Рисунок 5.7 – Установка горячого пресування

Для нагрівання використовують найчастіше електричний струм. Нагріванню піддають або безпосередньо порошок заготовки, або матрицю (рис. 5.8).



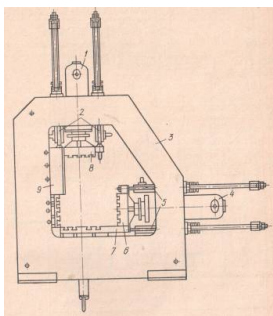
- а – опосередковане нагрівання через трубу (обмотку); б – пряме нагрівання через пуансон; в – пряме нагрівання через матрицю; г – індукційне нагрівання порошку у керамічній матриці

Рисунок 5.8 –Способи нагрівання при горячому пресуванні

Як захисна атмосфера використовуються вакуум, відновлювальний або інертний газ.

Головний недолік таких пресів – низька продуктивність.

5.2.3. *Кутові преси* (рис. 5.9) забезпечують не лише вертикальний, а й бічний тиск. Вони використовуються при роботі з прес-формами, які складаються з трьох частин.



1 – верхній циліндр; 2, 5 - зворотні циліндри; 3 – станина; 4 – бічний циліндр;
6, 8 – плити; 7, 9 - напрямні

Рисунок 5.9 – Кутувий гідравлічний прес

Спочатку замикають прес-форму горизонтальним пуансоном. В утворену матрицю засипають порошок, після чого здійснюється пресування вертикальним пуансоном. Щоб утримати прес-форму від розмикання, зусилля горизонтального плунжера повинно перевищувати тиск вертикального плунжера принаймні у 1,5 рази.

5.2.4. *Роторні автомати* – це кулачкові преси, які застосовуються для виготовлення простих виробів у масовому виробництві. Їхню основу становить стіл-ротор, який обертається навколо вертикальної осі. На столі по колу розташовані матриці, над ними – пуансон (іноді два), нижче стола, але на іншій позиції, знаходиться виштовхувач. Під час зупинки періодичного руху стола нерухомий пуансон здійснює пресування нової порції порошку, а поруч виштовхувач виштовхує готову пресовку. За хвилину проходить 4...12 повних обертів стола. Можлива продуктивність автомата – 240 виробів за хвилину.

5.3. Розрахунок технічних характеристик пресів

Величина необхідного зусилля пресування знаходиться за

формулою:

$$P = k p \cdot S \text{ (МН)}, \quad (5.1)$$

де k – запас тиску на втрати (1,25...1,40); $p_{\text{пит}}$ – питомий тиск формування порошку, МПа, S – площа проекції максимального перерізу виробу в плані, м^2 .

Хід верхнього пуансона $H_{\text{в.п}}$ (рис. 5.10) складається з величини шляху пресування h_1 , мм, і відстані h_2 , мм, від нижнього торця верхнього пуансона до верхнього торця матриці.

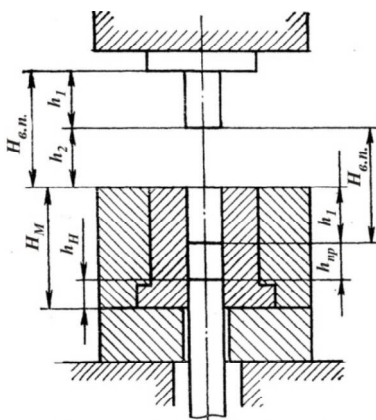


Рисунок 5.10 – Схема розрахунку ходу верхнього пуансона

Тобто

$$H_{\text{в.п}} = h_1 + h_2. \quad (5.2)$$

Величина шляху пресування h_1 залежить від густини пресовки $\rho_{\text{пр}}$ та насипної густини порошку $\rho_{\text{н}}$ відповідно:

$$h_1 = h_{\text{пр}} \cdot (\rho_{\text{пр}} / \rho_{\text{н}} - 1). \quad (5.3)$$

Відстань h_2 залежить від прийнятого методу засипання шихти у завантажувальну камеру прес-форми. Звичайно вона становить не менше 40 мм.

Зусилля виштовхування пресовки з матриці знаходиться за формулою:

$$P_{\text{вшт}} = f p_{\text{біч}} F \text{ (МН)}, \quad (5.4)$$

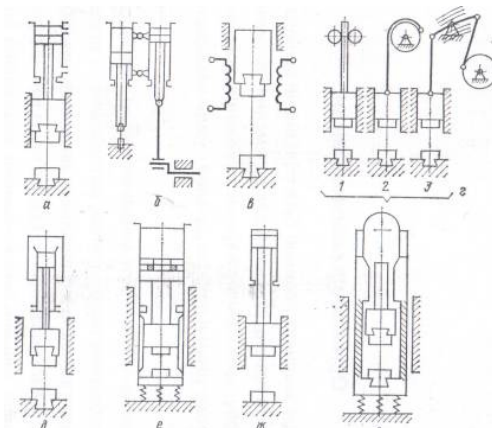
де f – коефіцієнт тертя; $p_{\text{біч}}$ – бічний тиск, МПа; F – площа бічної поверхні виробу, що контактує з матрицею, м^2 .

5.4. Молоти

Пресування на молотах здійснюється за рахунок кінетичної енергії робочих мас у момент удару. Основні види молотів класифікуються за типом приводу (рис. 5.11).

Пароповітряні молоти отримують енергію із заводської мережі стисненого повітря під тиском 0,7...0,8 МПа, можуть мати масу частин, що падають, до 0,5 т. Швидкість пуансона у момент удару – 6...7 м/с. Це найпотужніші молоти.

Пневматичні молоти для створення стисненого повітря мають у своєму складі власний компресійний циліндр. Він створює тиск до 0,4...0,6 МПа. Потужність цих молотів невелика.



а – пароповітряний; б - пневматичний; в – електричний; г – пружино-ресорний;
д, е – газогідравлічні; ж – гідравлічно-акумуляторний; з – газовий

Рисунок 5.10 – Кінематичні схеми молотів

Електричні молоти отримують енергію за рахунок переміщення робочої маси електромагнітним полем лінійних статорів.

У газогідравлічних молотах для розгону робочих тіл до швидкості 5...6 м/с використовують стиснене повітря (тиск до 1...5 МПа), а для повернення у вихідний стан – рідину під тиском 2...10 МПа.

Газові молоти працюють за рахунок миттєвого спалювання (вибуху) газової суміші. В результаті створюється тиск до 20 МПа і швидкість в момент удару понад 10 м/с.

У гідравлічних молотах енергоносієм служить рідина під тиском 6...20 МПа, яка подається від насосів або акумуляторів. За допомогою рідини створюється енергія робочих мас і здійснюється повернення їх у вихідну позицію. Швидкість робочих мас при ударі – 4...6 м/с.

Перевага молотів полягає у тому, що деформування йде адіабатично, тому не треба додатково нагрівати порошок.

5.5. Розрахунок технічних характеристик молотів

Потужність молотів визначається кінетичною енергією, яку розвивають їх робочі маси в момент удару. Оскільки висота падіння робочих мас усіх молотів приблизно однакова, швидкість при ударі також приблизно однакова. Тому потужність молотів визначає маса частин, що падає. Її орієнтовно визначають за емпіричною формулою:

$$G = \alpha \cdot F_{\text{пов}} \cdot \gamma / h \text{ (кг)}, \quad (5.5)$$

де α – питома енергія роботи деформування, Дж/м²; $F_{\text{пов}}$ – площа поверхні виробу в плані, м²; γ – ступінь зменшення границі міцності матеріалу пресовки при температурі деформування; h – висота падіння робочих частин молота, м.

6 ФОРМОТВІРНА ОСНАСТКА ДЛЯ ПРЕСІВ І МОЛОТІВ

Основною оснасткою при формуванні виробів з металевих порошків у більшості випадків є прес-форма. Залежно від призначення, способу пресування, матеріалу виробу вони поділяються на прес-форми для холодного та гарячого пресування, для калібрування тощо.

6.1. Прес-форми для холодного пресування

До прес-форм для холодного пресування висуваються такі вимоги: забезпечувати формування виробів заданої форми і розмірів з рівномірною щільністю в усіх частинах виробу; надавати можливість найпростішого випресовування виробу; бути простими за конструкцією, надійними та економічними під час експлуатації.

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

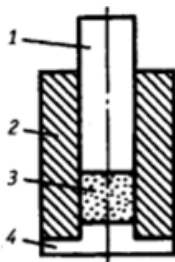
- за експлуатаційними особливостями – стаціонарні та знімні;
- за способом заповнення порошком порожнини матриці – з об'ємним і ваговим дозуванням;
- за принципом пресування – однобічне і двобічне;
- за конструкцією матриці – з суцільною або рознімною матрицею;
- за кількістю формувальних гнізд – одно- і багатогніздні;
- за методом пресування – для ручного, напівавтоматичного або автоматичного пресування.

6.1.1. *Конструкція прес-форми і спосіб пресування* залежать від конфігурації виробу, його розмірів, від відношення висоти виробу до його діаметра або до товщини стінки. З цієї точки зору вироби поділяються на сім груп складності (додаток А). Віднесення виробу до певної групи складності можна зробити за допомогою довідників [1, 2, 6].

Вироби першої – другої груп складності (тобто з незмінним поперечним перерізом, і з співвідношенням висоти (H) до діаметра або іншого поперечного розміру (d) не більше 1,5...2,0) виготовляються *однобічним* пресуванням у простих прес-формах (рис. 6.1).

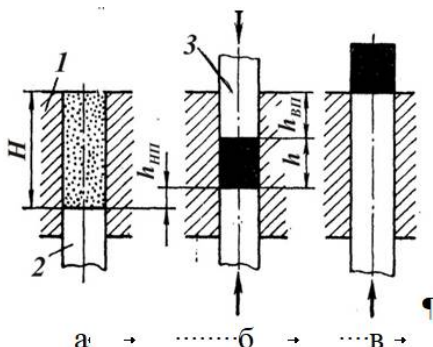
Складніші вироби з більшим відношенням висоти виробу до його діаметра (H/d) використовують прес-форми *двобічного*

пресування. При цьому може використовуватися як нерухома, так і рухома матриця.



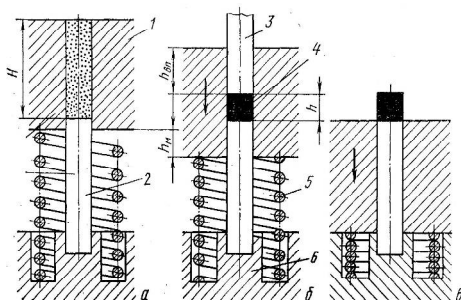
1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – порошок; 4 – підставка
Рисунок 6.1 – Схема одностороннего пресування

При двобічному пресуванні з *нерухомою* матрицею (рис. 6.2) порошок спочатку заповнює її на висоту H . Під час пресування здійснюється одночасне переміщення верхнього $h_{в.п.}$ і нижнього $h_{н.п.}$ пуансонів. В результаті утворюється пресовка висотою h .



а – заповнення матриці порошком; б – пресування;
в – виштовкування виготовленої пресовки
1 - матриця; 2 -нижний пуансон; 3 - верхній пуансон;
Рисунок 6.2 – Двобічне пресування з нерухомою матрицею

При пресуванні з рухомою («плаваючою») матрицею після заповнення її засипкою висотою H примусовий рух отримує лише верхній пуансон (рис. 6.3). Поступово при тій же засипці H у верхній частині прес-форми між стінками матриці і порошком



- а – заповнення матриці порошком; б – пресування;
 в – виштовхування виготовленої пресовки
 1 – матриця; 2 – нижній пуансон; 3 – верхній пуансон;
 4 – пресовка; 5 – пружина; 6 – підставка

Рисунок 6.3 – Двобічне пресування з «плавучою» матрицею

виникають значні сили тертя, які змушують рухатися матрицю. У момент, коли сили тертя у верхній і нижній частинах матриці вирівнюються, починає рухатися верхній пуансон, додатково ущільнюючи порошок. Почергове і послідовне переміщення пуансона і матриці триває доти, поки не закінчиться процес пресування порошку. Подальший рух матриці призводить до виштовхування матриці шляхом «стягування» при нерухомому нижньому пуансоні.

У цьому випадку сумарний рух пуансона і матриці дорівнює сумарному руху пуансонів при пресуванні виробу у прес-формі з нерухомою матрицею: $h_M = h_{в,п} + h_{п,м}$.

Конструкція прес-форми складається з технологічних (формовірних) і допоміжних деталей. Основні технологічні деталі – це деталі, які мають безпосередній контакт з порошком, що пресується: матриця, пуансон і стрижень, якщо виріб має отвір. До допоміжних деталей відносяться кріпильні деталі, пружини, упори, підставки тощо.

Прес-форма повинна забезпечити формування всіх елементів пресовки з рівномірною щільністю за один рух робочого органу преса. Тому складність конфігурації виробу визначає складність конструкції прес-форми. Правильність її функціонування, точність розмірів забезпечується розрахунком технологічних елементів прес-форм, правильним розташуванням і розрахунком пружин, упорів тощо.

Матриця визначає зовнішню конфігурацію виробу. Високий тиск пресування вимагає від неї високої міцності. Щоб не збільшувати занадто товщину стінку матриці, для додаткового зміцнення іноді використовують зовнішні *бандажі*.

Матриці можуть бути суцільні та розрізні. Останні використовуються при складній конфігурації виробу. Розрізна матриця повинна мати правильно розташовані розрізи (рис. 6.4), які не лише забезпечують зручність пресування та видалення пресовки, але й надають можливість відновлення їх при зношенні у процесі експлуатації.

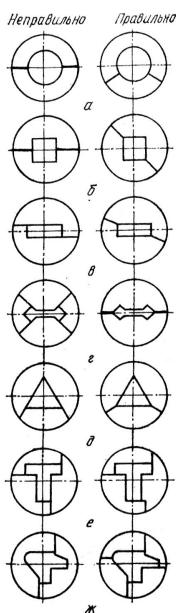


Рисунок 6.4 – Розташування розрізів розрізних матриць

Рекомендації щодо кількості та розташування розрізів наведені у підручнику [6].

Пуансони служать для передавання тиску на порошок і одночасно формують торці виробу. Найчастіше у прес-формі використовують два пуансони, бо двобічне пресування значно поширишині. Пуансони в основному піддаються стискальному

навантаженню. Їх роблять якомога коротшими, щоб забезпечити стійкість на поздовжній згин. Для пресування заготовок дуже складної конфігурації застосовують верхні і нижні *складені* пуанسونи з декількома рухомими частинами, кількість яких відповідає числу переходів (змін розмірів поперечного перерізу виробу).

Стрижні використовуються у випадках, коли виріб має отвори. Звичайно вони мають порівняно просту конфігурацію, можуть бути нерухомими і рухомими.

6.1.2. *Матеріали* основних деталей прес-форми повинні відповідати таким вимогам: з одного боку. висока абразивна зносостійкість, висока твердість і міцність, а з іншого - добра оброблюваність різанням.

Для виготовлення деталей прес-форм головним чином використовують інструментальні сталі. Конкретний матеріал обирається залежно від складності конфігурації виробу, абразивності порошкової суміші деталі, величини тиску пресування. Чим більше тиск пресування, більше абразивність порошкової суміші, складніше конфігурація виробу, тим міцніший і зносостійкіший матеріал обирається для робочих деталей прес-форм.

Твердість робочих деталей прес-форм після термооброблення має бути для матриць і стрижнів не нижче 60...65 HRC, для пуансонів – не нижче 55...60 HRC. Нижня частина стрижня, яка не піддається абразивній дії суміші, гартується до твердості 45...50 HRC. При необхідності мати більшу зносостійкість можуть використовуватися сталі типу 38ХМЮА, здатні до азотування. Сталь 38ХМЮА після азотування і гартування має поверхневу твердість до 64 HRC при твердості осердя до 60 HRC. У крупносерійному і масовому виробництвах застосовують деталі прес-форм з твердих сплавів ВК10, ВК15, ВК20.

Найпоширеніші сталі, які використовуються для виготовлення деталей прес-форм, наведені у додатку Б.

6.2 Розрахунок прес-форм

Вихідними даними для розрахунків прес-форм є: креслення деталі з розмірами і допусками та її бажана щільність; технологічні характеристики пресовки (густина пресовки); технологічні характеристики шихти (насипна густина, коефіцієнт Пуасона, плинність); очікувані усадка/збільшення розмірів пресовки при

спіканні; відомості про необхідність наступних калібрування або механічного оброблення; передбачувана схема пресування та ін.

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

Перед початком розрахунків також приймається орієнтовна посадка пари «пуансон-матриця», наприклад, Н7/г7.

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

Розрахунок розмірів матриці полягає у визначенні діаметра отвору і висоти матриці.

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

$$D = D_n \pm IT/2 - I_{\text{пд}} \pm n_d + K, \quad (6.1)$$

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

Величина $(D_n \pm IT/2)$ у формулі 6.1 дозволяє визначити максимально і мінімально допустимі діаметри матриці. Передбачаючи зношування матриці при експлуатації, при проектуванні нової прес-форми знаходять початковий, *мінімальний діаметр матриці* D^{min} , використовуючи у формулі 6.1 величину $(D_n - IT/2)$.

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

При спіканні спостерігається *зсідання/збільшення* n_d – зменшення (або збільшення) розмірів сформованого брикету за рахунок зменшення об'єму відкритих пор або їх збільшення при виникненні закритої пористості. Якщо при спіканні розмір брикету зменшується, то у формулі (6.1) перед величиною n_d буде знак «плюс», а якщо збільшується – знак «мінус».

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

При подальших розрахунках поле допуску діаметра D^{\min} узгоджується зі стандартним полем допуску для отвору Н відповідного квалітету (наприклад, Н7 за ГОСТ 25347-82 [9]).

Висота матриці H_M розраховується за формулою:

$$H_M = H_{KM} + l_K, \quad (6.2)$$

де H_{KM} – висота робочого каналу матриці, мм; l_K – висота конусної ділянки на вихідному кінці матриці, мм.

У свою чергу *висота робочого каналу матриці*:

$$H_{KM} = h_{зав} + h_B + h_H, \quad (6.3)$$

де $h_{зав}$ – висота завантажувальної камери, мм; h_B , h_H – величини заходу в матрицю верхнього і нижнього пуансонів відповідно, мм.

Величини *заходу в матрицю* верхнього і нижнього пуансонів обираються конструктивно у межах 10...15 мм для кожного. Висота *завантажувальної камери* $h_{зав}$ складається з висоти пресовки до спікання $h_{пр}$ і величини шляху пресування h_1 (тобто $h_{зав} = h_{пр} + h_1$, рис. 6.5).

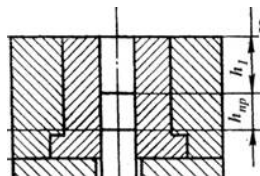


Рисунок 6.5 – Схема розрахунку висоти завантажувальної камери $h_{зав}$

Висота пресовки до спікання

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ном}} - l_{\text{пв}} \pm n_{\text{в}} + K, \quad (6.4)$$

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

Величина *шляху пресування* h_1 знаходиться залежно від передбачуваної густини пресовки $\rho_{\text{пр}}$ та насипної щільності порошку $\rho_{\text{н}}$ за формулою:

$$h_1 = h_{\text{пр}} \cdot (\rho_{\text{пр}} / \rho_{\text{н}} - 1). \quad (6.5)$$

Для запобігання появленню розшарування у пресовці при виштовхуванні на вихідному кінці матриці передбачається розширення її каналу (рис. 6.6).

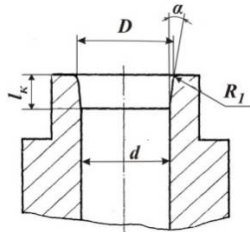


Рисунок 6.6 – Схема конічної частини матриці

Кут розширення α береться у межах від $0^{\circ}05'$ до $1,0^{\circ}$, а перевищення розширення каналу матриці на бік становить від 0,2 до 0,5 мм. Чим більше діаметр матриці, тим більше перевищення і тим менше кут розширення. За таких умов *довжина конусної ділянки* l_k може становити від 5 до 80 мм.

Діаметр пунсона залежить від номінального діаметра матриці D . Він має бути на певну величину менше, щоб забезпечити зазор між ними. Зазор між сполучуваними деталями прес-форми повинен, з одного боку, забезпечувати вихід повітря з пор виробу, що пресується, а з іншого - у такі зазори не повинен просипатися порошок, засипаний у матрицю.

На практиці мінімальний зазор між матрицею і пунсоном S_{min} обирається у межах 0,005...0,015 мм. Він відповідає розмірам *нової* прес-форми. Під час експлуатації зазор поступово збільшується до

максимально допустимої величини S_{\max} , яка залежить від гранулометричного складу порошку виробу. Наприклад, згідно з ГОСТ 9849-86 [10] залізні порошки мають частинки розміром менше 0,071 мм у кількості 0...20%, тобто практично всі частинки порошку мають розмір 0,071 мм і більше, а отже не можуть просипатися у зазор між матрицею і пуансоном при S_{\max} , менше 0,071 мм.

Задавшись величинами мінімального S_{\min} і максимального S_{\max} зазорів згідно з гранулометричним складом порошку виробу і знаючи граничні значення діаметра матриці, можна розрахувати максимальний і мінімальний діаметри пуансона:

$$d_{\max} = D^{\min} - S_{\min}; \quad (6.6)$$

$$d_{\min} = D^{\max} - S_{\max}. \quad (6.7)$$

У межах отриманого поля допуску діаметра пуансона ($IT = d_{\max} - d_{\min}$) необхідно визначити його номінальний діаметр пуансона і стандартні граничні відхилення згідно з прийнятою заздалегідь орієнтовною посадкою (наприклад, g7 згідно з ГОСТ 25347-82 [9]).

Висота пуансона, який служить для передачі зусилля пресування порошку і не є одночасно виштовхувачем, знаходиться за формулами:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{м}} - h_{\text{пр}} - h_{\text{н}} + (5 \dots 10), \quad (6.8)$$

$$\text{або } H_{\text{п}} = h_1 + h_{\text{в}} + l_{\text{к}} + (5 \dots 10). \quad (6.9)$$

Якщо виріб має отвір, то необхідно спроектувати *стрижень*, який забезпечить його отримання при пресуванні.

Діаметр стрижня залежить від номінального розміру отвору, від зміни розмірів у процесі виготовлення (пружна післядія, усадка/зростання при спіканні) і приймається максимально можливими, щоб забезпечить найбільший припуск на зношування стрижня під час експлуатації.

Номінальний діаметр стрижня $d_{\text{ст}}$ знаходиться за формулою

$$d_{\text{ст}} = d_{\text{вн}} \pm IT/2 + l_{\text{пд}} \pm n_{\text{д}} - K, \quad (6.10)$$

де $d_{\text{вн}}$ – номінальний діаметр отвору, мм; IT – поле допуску на номінальний діаметр отвору, мм; $l_{\text{пд}}$ – величина пружної післядії за

діаметром, мм; n_d – величина зсідання (або збільшення) виробу за діаметром при спіканні, мм; K – припуск на наступні операції, які можуть вплинути на остаточні розміри спресованого виробу.

Величина зсідання (або збільшення) виробу n_d при зсіданні береться зі знаком «мінус», а при збільшенні – зі знаком «плюс». Причому, для отримання максимально (мінімально) допустимого розміру робочої частини стрижня ($d_{\text{ст}}^{\text{max}}/d_{\text{ст}}^{\text{min}}$) у формулу слід підставляти відповідно максимально (мінімально) допустимий діаметр отвору деталі.

6.2.2. *Розрахунок прес-форм на міцність* служить для визначення зовнішнього діаметра матриці (а отже й товщини стінки) і працездатності пуансона отриманих розмірів.

Як вихідні дані при розрахунку деталей прес-форми на міцність додатково до отриманих геометричних розмірів і згадуваних раніше технологічних даних порошку необхідно обрати для матриці та пуансона сталі (додаток Б) та їх властивості: границі міцності на розтяг σ_b і стисканні $\sigma_{\text{ст}}$ та спільний практично для всіх сталей коефіцієнт Пуасона сталей $\nu_c = 0,28$.

Для визначення товщини стінки **матриці** необхідно розрахувати зовнішній діаметр матриці D_2 .

Зовнішній діаметр D_2 циліндричної матриці

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{([\sigma] + p \nu_c) / ([\sigma] - p \nu_c)}, \quad (6.11)$$

де D_1 – внутрішній діаметр матриці, мм; $[\sigma]$ – допустиме напруження на розтяг матеріалу матриці, МПа; p – максимальний тиск пресування, МПа; ν_c – коефіцієнт Пуассона матеріалу прес-форми.

Коефіцієнт запасу міцності звичайно обирають $n = (2 \dots 3)$; тоді $[\sigma] = \sigma_b/n$. Літературні джерела [2, 6] рекомендують уточнити D_2 за емпіричною умовою: $D_2/D_1 = 2$ при бічному тиску $p_b \leq 200$ МПа і $D_2/D_1 = 3$ при бічному тиску $p_b > 200$ МПа.

Бічний тиск виникає за рахунок того, що тиск пресування внаслідок пластичності матеріалу виробу створює тиск на стінки прес-

форми у напрямку, перпендикулярному до напрямку пресування. Її величина знаходиться за формулою:

$$p_b = \frac{p \cdot \nu}{1 - \nu}, \text{ МПа}, \quad (6.12)$$

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

Залежно від отриманої величини p_b визначається діаметр D_2 для подальших розрахунків.

Після цього необхідно перевірити стінку матриці *на жорсткість*. Умова достатньої жорсткості: відносна деформація стінки ϵ не повинна перевищувати 0,2%.

Відносна деформація стінки ϵ , %:

$$\epsilon = \frac{p_b}{E} \cdot \left[\frac{D_2^2 + D_1^2}{D_2^2 - D_1^2} + \nu_c \right] \cdot 100\%, \quad (6.13)$$

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

Якщо отримана відносна деформація стінки ϵ не перевищує 0,2%, перевірка на жорсткість на цьому закінчується. Якщо умова не виконана, то треба збільшити D_2 приблизно на 10...15% і повторити розрахунок. Якщо і у цьому випадку необхідна жорсткість не досягнута, то на зовнішній діаметр матриці D_2 встановлюється з *натягом* обойма із зовнішнім діаметром $D_3 = (3...4)D_1$.

Пуансон перевіряється на міцність *при стисканні* за формулою:

$$\sigma_{ст} = P / F_{п} \text{ (МПа)} \leq [\sigma_{ст}], \quad (6.14)$$

де P – розрахункове зусилля пресування, МН; $F_{п}$ – площа найменшого поперечного перерізу пуансона, м^2 ; $[\sigma_{ст}]$ – допустиме напруження на стискання матеріалу пуансона, МПа.

Пуансони, що мають довжину $l_{п} \geq 3d$, проходять перевірку на *поздовжній згин*.

Умова безпеки пуансона на поздовжній згин: $P_{кр} > P$. Критичне навантаження при поздовжньому згині:

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 EI_{п}}{l_{п}^2}, \quad (6.15)$$

де $I_{п}$ – осьовий момент інерції поперечного перерізу пуансона, m^4 ; $l_{п}$ – максимальна довжина вільної частини пуансона, м.

Довжина пуансона $l_{п}$ складається з шляху пресування h_1 (формула 6.5), величини заходу в матрицю верхнього пуансона h_b (10...15 мм) і довжини конусної ділянки матриці l_k (для більшості виробів - 3...10 мм). Отриману величину можна округлити у бік збільшення.

Порівнюючи отримане розрахункове зусилля пресування P з критичним навантаженням при поздовжньому згині $P_{кр}$, зробити висновок: виконана чи не виконана умова міцності при стисканні.

6.3 Прес-форми спеціального призначення

6.3.1. Прес-форми для калібрування і допресовування.

Калібрування служить для надання виробу найбільшої точності та якості. Застосовується калібрування *роздільне* (за одним параметром) і *суміщене* (по двом і більше параметрам; напр., поліпшення розмірів і фізико-механічних властивостей). *Допресовування* застосовується з метою підвищення щільності виробу після спікання.

В обох випадках заготовкою служить готовий виріб, тому опір деформуванню дуже високий.

Прес-форма повинна мати мінімальні зазори і мінімальну кількість рознімів, що забезпечує максимальну жорсткість. Параметр шорсткості внутрішньої поверхні матриці повинен бути не більше $Ra = 0,2$ мкм.

Конструкція прес-форми повинна забезпечувати послідовне калібрування: спочатку зовнішні поверхні, а потім – отвори. Причому калібрована поверхня повинна залишатися під тиском до закінчення калібрування заготовки в цілому. Вишовхування пресовки вниз напрохід дає кращий результат.

6.3.2. Прес-форми для гарячого пресування.

Прес-форми для гарячого пресування виготовляються з металів при температурі деформування порошоків до $800 \dots 900^{\circ}\text{C}$, з графіту або керамічних матеріалів при більших температурах. Переваги графітової матриці: висока теплостійкість (може працювати при температурі понад 1000°C), сама матриця може бути нагрівачем. Але графіт пористий, не виключене затікання металу виробу у пори матриці; хімічно активний, може взаємодіяти з матеріалом виробу; швидко зношується.

Для зміцнення графітової матриці іноді зміцнюють металевими або керамічними обоймами. Але при високих температурах нагрівання металеві обойми неефективні з-за високого коефіцієнта лінійного розширення, а керамічні – з-за крихкості.

Перед видаленням виробу останній період його остигання проходить при знятому тиску.

6.3.3. Штампи для гарячого штампування.

Гаряче штампування використовується для отримання практично безпористих виробів. Деформування відбувається при дуже високих швидкостях, з нагріванням або без нього, на повітрі або у захисній атмосфері. Заготовкою служить спресована і спечена пресовка. Штампуванням виготовляються або окремі порошоківі вироби, або порошоківі заготовки *напресовуються* на якийсь елемент металевої конструкції.

Конструктивно штамп складається з тих же елементів, що й звичайні прес-форми. Деформування у штампі відбувається головним чином осаджуванням з мінімальним переміщенням пуансона. Тому порожнина матриці має, як правило, просту конфігурацію. Пуансон для штампування має бути коротким, щоб уникнути поздовжнього згину. Виштовхувач повинен мати мінімальний зазор по периметру з метою уникнення утворення задирок на стінках матриці.

Для виготовлення штампів не використовуються тверді сплави на основі карбідів вольфраму.

6.3.4. Уніфікація пресової оснастки.

Уніфікація дозволяє спростити виготовлення і використання елементів прес-форми при переході від одного виду виробів до іншого, скорочує час підготовки виробництва.

Суть уніфікації полягає у створення уніфікованих конструктивних елементів прес-форми (матриць, пуансонів,

стрижнів), стандартизації розмірів і посадок пари «матриця-пуансон», їх граничних відхилень.

Найчастіше уніфікують допоміжні деталі прес-форм: вузли приєднання прес-форми до пресів; напрямні колонки; міжцентрові відстані між колонками; дозатори і живильники; вузли змащування, пружини, важелі, кріпильні деталі, упори тощо.

Одним із засобів уніфікації є використання спеціальної оснастки – пресувальних блоків (адаптерів) (рис. 6.7).

Пресувальний блок – пристрій, який можна зняти з преса, розмістити у ньому відповідну підготовлену прес-форму і знову поставити на прес.

Пресувальні блоки служать для трансформації прямолінійного руху траверси преса у декілька різних рухів формотвірних елементів оснастки. Прес, як правило, комплектується декількома прес-блоками для підвищення продуктивності. У той час, коли заздалегідь підготовлений прес-блок працює на пресі, в інший прес-блок поза пресом встановлюють підготовлену до пресування прес-форму.

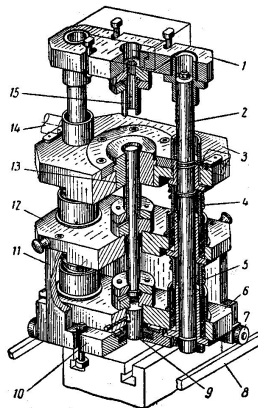


Рисунок 6.7 – Приклад конструкції пресувального блока

Переваги прес-блоків: швидке переналагоджування пресів; можливість компенсувати недоліки роботи пресів; використання часу пресування в одному прес-блоці для оснащення чергового прес-блока.

7 ІЗОСТАТИ

Ізостатичне пресування – метод формування порошкових матеріалів у деформівних оболонках рідиною або газом в умовах всебічного стискання при одночасному нагріванні до високої температури або без нього.

Особливість ізостатичного пресування полягає у тому, що нема контакту між порошком і робочим тілом; дуже висока і рівномірна щільність отримуваної пресовки.

Розрізняють такі види ізостатичного пресування: гідростатичне, газостатичне і в еластичних оболонках.

7.1 Ізостати холодного пресування

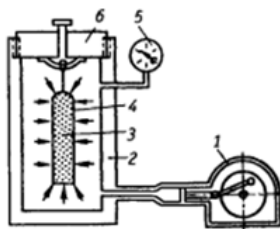
7.1.1 Особливості холодного ізостатичного пресування (ХІП).

Суть цього методу пресування полягає у тому, що порошок в еластичній оболонці стискається рідиною у металевому контейнері.

До переваг холодного пресування відносяться: здатність отримувати вироби з дуже високою рівнощільністю й міцністю; можливість виготовлення крупногабаритних виробів складної конфігурації; зменшення усадки при спіканні. До недоліків відноситься: низька точність виробів, тривалість повного циклу формування.

За способом створення тиску гідростати поділяються на насосні, мультиплікаторні, плунжерні.

У насосних гідростатах рідина під високим тиском подається у робочий циліндр від гідравличного насоса, розташованого поза робочим циліндром (рис. 7.1).

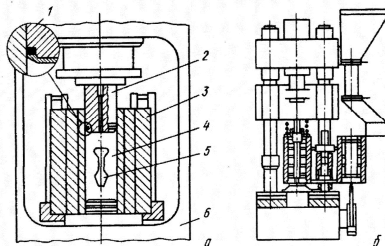


1 – насос високого тиску; 2 – робоча камера; 3 – виріб; 4 – еластична оболонка;
5 – манометр; 6 – кришка гідростата

Рисунок 7.1 – Схема насосного гідростата

Мультиплікаторні гідростати відрізняються тим, що у своїй конструкції мають у своєму складі *мультиплікатор* – пристрій, який здатний у декілька разів підвищити тиск, створений насосом. Вони мають дві гідравлічні системи: від насоса до мультиплікатора і від мультиплікатора до робочої камери.

Плунжерні гідростати працюють на базі серійних гідравлічних пресів. Тиск створюється плунжером преса, який входить безпосередньо у робочий циліндр (рис. 7.2).

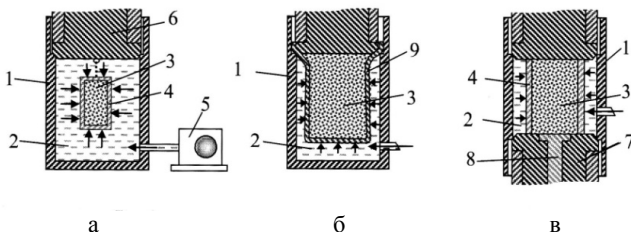


а – робочий циліндр; б – плунжерний гідростат двома робочими циліндра
1 – ущільнення плунжера; 2 – плунжер; 3 – робочий циліндр; 4 – робоча рідина; 5 – виріб; 6 – станина

Рисунок 7.2 - Схема плунжерного гідростата

7.1.2.Методи формування при холодному пресуванні.

За способом заповнення оболонки і створення робочого тиску розрізняють методи «мокрого мішка», «сухого мішка» і радіального ущільнення (рис. 7.3).



а – «мокрого мішка»; б – «сухого мішка»; в – радіального ущільнення.

1 – контейнер; 2 – робоча рідина 3 – виріб; 4 – оболонка; 5 – насос;
6, 7 – плунжери; 8 – виштовхувач; 9 - ущільнення

Рисунок 7.3 – Схема методів холодного формування

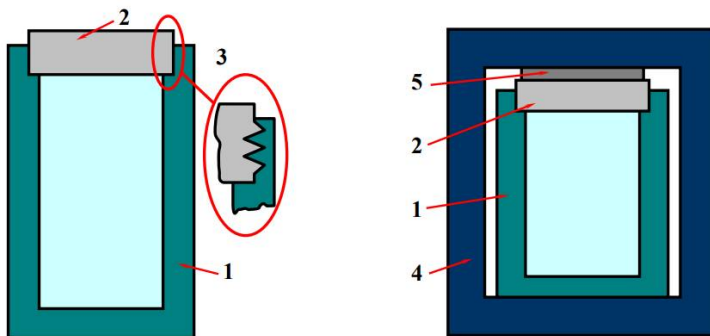
При методі «*мокрого мішка*» порошок знаходиться в еластичній оболонці, оточений з усіх боків робочою рідиною. Завантажування порошку і вивантажування виробу здійснюється поза гідростатом.

При методі «*сухого мішка*» горловина оболонки закріплена в камері гідростата. Ущільнення порошку відбувається знизу і по радіусу. Завантажування порошку і вивантажування виробу здійснюється після закінчення циклу формування у гідростаті.

При методі *радіального ущільнення* обидві горловини оболонки ущільнені у затворах контейнера з обох торців, тому створюється лише радіальний гідравлічний тиск.

7.1.3. Конструкція гідростатів.

Основними вузлами гідростатів є контейнер (робоча камера), станина, гідропривід та насоси для створення високого тиску рідини. За конструкцією станини гідростати поділяються на безрамні та рамні (рис. 7.4).



а
1 – контейнер; 2 – кришка; 3 – різьба з'єднання; 4 – рама;
5 – ущільнювач

Рисунок 7.4 – Схеми безрамного (а) і рамного (б) гідростатів

Гідростати рамної конструкції виготовляють як з окремо встановленим насосом високого тиску або мультиплікатором, так і з вбудованим мультиплікатором. Внутрішній діаметр робочої камери гідростатів до 1500 мм, довжина - до 2500 мм, робочий тиск 200...600 МПа. Гідростати безрамного типу мають меншу металоемність порівняно з гідростатами інших типів. Вони мають внутрішній

діаметр контейнера 275...500 мм, довжину 200...1200 мм, робочий тиск 60...100МПа.

7.1.4 Еластичні оболонки і рідини для ХІП.

Матеріал еластичних оболонок повинен мати низький модуль пружності, низьку адгезію до порошку, добру оброблюваність та зносостійкість, опір просочуванню рідини. Як матеріал найчастіше використовують каучук, неопренову, нітрилову або силіконову гуму, поліуретан тощо.

Товщина еластичної оболонки звичайно – 1,5...6 мм. Товстіші оболонки служать довше, але вони складніші у використанні. Для виготовлення заготовок складної конфігурації використовують тонкостінні оболонки, але вони швидше виходять з ладу.

До робочих рідин висуваються такі вимоги: низька ціна і легка доступність; сумісність з матеріалом контейнера або еластичної оболонки; низьку стисливість; легкість відокремлення порошку від робочої рідини при прориванні оболонки. Звичайно як робочу рідину використовують технічні масла (веретенне, індустріальне), водні емульсії масел, гліцерин, воду з добавками інгібіторів.

7.1.5. Гідродинамічні машини.

Конструкція гідродинамічних машин практично не відрізняється від гідростатів, але у них робочий тиск створюється при згорянні порохового заряду у робочій камері[3, 5]. Газова суміш, що при цьому утворюється, створює тиск на поршень (до 1500 МПа) і через нього - на робочу рідину. Розмір робочої камери: діаметр 200...350 мм, довжина 500...1000мм.

7.2 Ізостати гарячого пресування

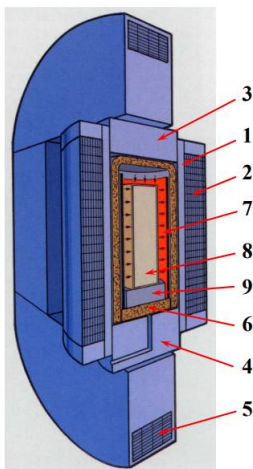
Особливість гарячого ізостатичного пресування полягає у тому, що за такою технологією металевий порошок одночасно спресовується (тиск до 200 МПа) і спікається (температура до 1500...2000⁰С), утворюючи пресовки зі щільністю, близькою до компактного тіла, з високими механічними властивостями.

Основний вид обладнання – газостати.

7.2.1. Конструкція газостатів.

Основою газостатів є контейнер – багат шаровий циліндр з декількох тонкостінних оболонок, з'єднаних одна з одною натягом (рис. 7.5). Для забезпечення більшої міцності контейнер обмотується додатково холоднотягнутими сталевими дротом або стрічками. Торці

контейнера закриті запірними кришками з різевими або байонетними затворами чи рамами, обмотаними також дротом або стрічками.



1 – контейнер; 2 – обмотка з дроту; 3 – верхня кришка; 4 – нижня кришка;
5 – рама, зміцнена дротом; 6 – теплоізоляція; 7 – нагрівачі; 8 – оболонки з порошком; 9 – підставка для оболонок

Рисунок 7.5 – Схема конструкції газостата

Всередині контейнера знаходиться теплоізоляція, нагрівачі, контур охолодження після пресування, система створення високого тиску газу у контейнері.

Як нагрівачі використовуються стрічки і спіралі з хромонікелевих сплавів (температура до 1260°C , нагрівання на повітрі), молібденові стрічки (температура до 1500°C , у захисній атмосфері), графітові стрижні (температура до 2000°C , у захисній атмосфері).

Залежно від максимальної робочої температури газостата його контейнер може бути одним з трьох типів:

- нагрівач ззовні контейнера (робоча температура $700\dots 800^{\circ}\text{C}$);
- нагрівач всередині контейнера (робоча температура 1000°C);
- нагрівач всередині контейнера з охолоджуваними стінками (робоча температура $1500\dots 2000^{\circ}\text{C}$).

7.2.2. Робочі гази і оболонки.

Як робочі гази використовують інертні гази – аргон або гелій,

рідше – азот. Гелій використовується при високих температурах пресування, оскільки він при цих температурах має більшу густину і теплопровідність, забезпечуючи кращі умови нагрівання виробу.

Робочі гази повинні мати дуже високі чистоту і стисливість. Не допускається попадання у робочу зону оливи і вологи.

Пресування порошкових заготовок здійснюється у оболонках (капсулах). Вони виготовляються з матеріалів, які мають достатню пластичність при температурі пресування і не взаємодіють з порошком. Найчастіше виготовляються з фольги із нержавіючої сталі, нікелю, міді, титану і т.п. Іноді використовуються оболонки з деформівних кераміки, скла, кварцу. Геометрія і розміри оболонок повинні максимально наближатися до конфігурації готового виробу. Оболонки виготовляють штампуванням листового матеріалу або шлікерним формуванням з водних суспензій.

В оболонку засипають порошок або вкладають попередньо спресовану за заданою конфігурацією заготовку. Перед обробленням у газостаті порошок в оболонці попередньо ущільнюють на віброустановках. Далі порошок (або спресована заготовка) піддаються дегазуванню при тиску не більше 1,3 Па і температурі (0,3...0,5) від температури плавлення основного порошку, після чого оболонки герметизуються.

7.2.3. Цикл газостатичного пресування.

Робочий цикл пресування у газостаті складається з таких основних операцій:

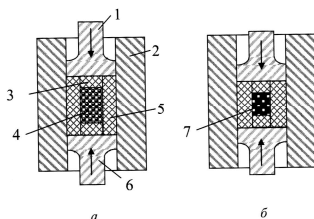
- підготовлення порошку, завантажування його в оболонку, віброоброблення, вакуумування і герметизація оболонки;
- завантажування оболонок (садки) у контейнер, вакуумування контейнера і промивання контейнера робочим газом;
- створення у контейнері необхідних за технологією тиску і температури;
- витримка садки при робочих тиску і температурі;
- охолодження садки і випуск робочого газу;
- вивантажування садки і видалення виробу з оболонки.

Перевагами гарячого ізостатичного пресування є можливість покращення службових властивостей матеріалу заготовки, варіювання технологічних параметрів оброблення, виготовлення на одному й тому ж обладнанні виробів з різних матеріалів і різних розмірів. Недоліками цієї технології є порівняно низький тиск пресування,

низька продуктивність, висока вартість обладнання, порівняно проста конфігурація отримуваних виробів.

7.3 Ізостатичне пресування у товстостінних оболонках

Суть пресування полягає у тому, що порошок в оболонці товщиною 10...20 мм поміщають у металеву матрицю і піддають одно- або двобічному пресуванню (рис. 7.6).



1 – верхній пуансон; 2 – матриця; 3 – гумова корка; 4 – порошок; 5 – товстостінна оболонка; 6 – нижній пуансон; 7 – пресовка

Рисунок 7.6 - Схема двобічного пресування у товстостінній оболонці: а – у момент прикладання тиску; б – після пресування

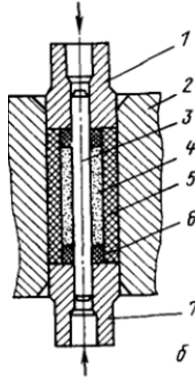
За цією технологією як обладнання використовують серійні гідравлічні преси, як оснастку – сталеві матриці простої конфігурації. Головну роль у формуванні виробу відіграють оболонки.

До матеріалу оболонок висувають такі вимоги:

- бути здатним приймати і зберігати певну форму, що відповідає конфігурації заготовки;
- мати достатню пластичність, щоб забезпечити рівномірне всебічне стискання (коефіцієнт Пуассона має наближатися до 0.5);
- бути достатньо пружним, щоб повертатися у попередній стан після зняття тиску;
- легко відділятися від матеріалу виробу;
- бути дешевим і зберігати працездатність достатньо тривалий термін.

Для виготовлення оболонок використовують парафін або віск, коли виготовляють одиничні вироби. Якщо треба виготовити декілька сотен виробів, використовують желатинові оболонки. Оболонки з каучуку або гуми дозволяють сформувати декілька тисяч виробів. Каучукові оболонки дозволяють отримати найкращу рівномірність і щільність виробів.

У товстостінних оболонках виготовляють вироби простої конфігурації (наприклад, циліндри). Для виготовлення виробів з отвором використовуються стрижні, які при пресуванні входять у відповідні пази пуансонів (рис. 7.7).



1 - верхній пуансон; 2 - матриця; 3 - стрижень; 4 - порошок; 5 - товстостінна оболонка; 6 - гумова корка; 7 - нижній пуансон
Рисунок 7.7 – Схема виготовлення виробу з отвором

8 ПРОКАТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

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

При прокатуванні порошків існують проблеми: труднощі з подаванням порошку у зону деформування; забезпечення оптимального зазору між валками; відмінність у поведінці порошку і компактного металу про катуванні.

Використовуються гравітаційне і примусове подавання порошку (рис. 8.1).

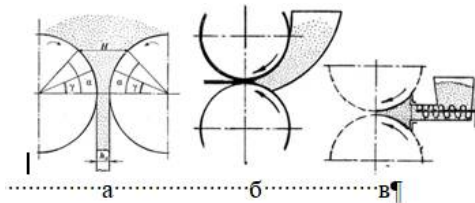


Рисунок 8.1 - Схема подавання порошку: а, б – гравітаційне; в – примусове

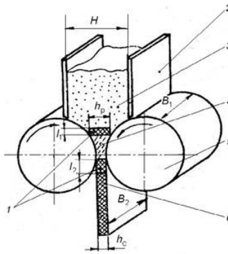
Від зазору між валками залежить ступінь деформування. Щоб забезпечити достатню щільність стрічки, виготовляють стрічки невеликої товщини – не більше 2...5 мм.

При прокатуванні об'єм порошку на відміну від компактного металу змінюється, внаслідок чого порошок ущільнюється від насипної щільності ρ_n до щільності прокату ρ_p . Відношення цих величин називається ступенем ущільнення Z :

$$Z = \rho_p / \rho_n. \quad (8.1)$$

На першому етапі при прокатуванні сили тертя між валками і порошком та між частинками порошку втягують їх у напрямку обертання валків (рис. 8.2). За рахунок цього об'єм порошку зменшується, відбувається *ущільнення*, яке полягає у тому, що частинки порошку поступово зближуються за рахунок зменшення пор між ним і виходу повітря назовні. Далі, у зоні деформування, узазорі між валками, відбувається власне *деформування* порошку. Об'єм і пористість матеріалу більше не змінюються, відбувається власне

пластичне деформування металевих частинок порошку.



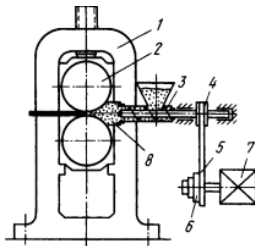
1 – об'єм порошку, що ущільнюється (h_n); 2 – бункер; 3 – вихідний порошок;
4 – зона деформування; 5 – валки; 6 – прокат (h_c)

Рисунок 8.2 – Схема деформування порошку при прокатуванні

Для отримання порошкової стрічки заданої пористості й товщини застосовуються спеціальні пристрої, які регулюють або рівень порошку у бункері, або товщину його захоплення у зоні деформування.

Прокатування порошоків здійснюється на прокатних станах, які мають конструкцію, аналогічну прокатним станам для прокатування компактних металів. Вони можуть мати одну або декілька двох- або чотирьохвалкових клітей. Валки промислових прокатних станів мають діаметр робочої бочки від 20 до 500 мм і довжину від 110 до 600 мм.

Подавання порошку у зазор між валками може здійснюватися гравітаційно (вільним падінням), за допомогою шнекових пристроїв (рис. 8.3) або конвеєрної стрічки.



1 – станина; 2 – валки; 3 – шнековий пристрій; 4 – муфта; 5 – клиновий пас; 6 – шків;
7 – електродвигун; 8 – бункер

Рисунок 8.3 – Схема прокатування порошку

При вільному прокатуванні порошку по краях стрічки утворюються нерівні зони підвищеної пористості 6...7 мм завширшки

з кожного боку. Тому формування точних стрічок здійснюється у закритому калібрі валків (рис. 8.4).

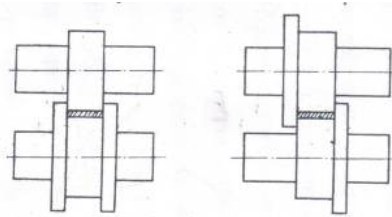
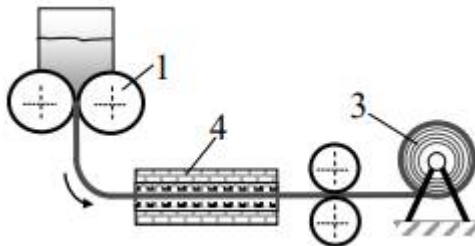


Рисунок 8.4 – Способи створення закритого калібру при прокатуванні порошкової стрічки

Порошки прокатують як в холодному, так і у гарячому стані. При гарячому прокатуванні прокатні стани додатково споряджують пристроями для нагрівання порошку перед прокатуванням, захищаючи камеру нагрівання захисним газом.

Для отримання порошкової стрічки використовують технологічні лінії, у склад яких входять прокатний стан, печі для спікання, пристрої для правки, намотування і охолодження стрічки (рис. 8.5).

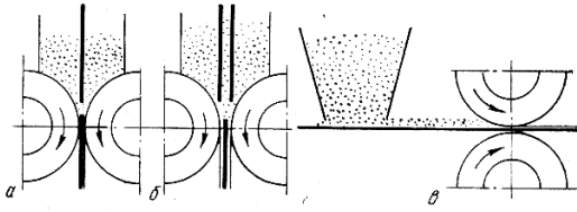


1 – валки; 3 – намотка прокату; 4 – прохідна піч

Рисунок 8.5 – Приклад технологічної лінії для прокатування порошкової стрічки

Безпористі стрічки (листи) додатково піддають ущільнювальному прокатуванню у холодному або гарячому стані.

Методом прокатування порошків можна отримувати багат шароватий прокат. Для цього порошки різних металів у бункері розділяються перегородками і прокатуються одночасно або разом прокатують компактний листовий матеріал і нанесений на нього порошок (рис. 8.6).



а – двошаровий прокат; б – тришаровий прокат; в – прокат металевго листа і порошку

Рисунок 8.6 – Схеми багатошарового прокатування

9 ШЛІКЕРНЕ ФОРМУВАННЯ

Суть шлікерного формування полягає у заповненні форми рідким шлікером з наступним видаленням рідини після досягнення виробом заданої товщини.

Шлікер – стійка суспензія металевого або неметалевого порошоків у рідкому середовищі. До шлікера як матеріалу майбутнього виробу висуваються такі вимоги:

- плинність – здатність литися, заповнюючи форму;
- сталість – здатність нерозшаровуватися протягом тривалого часу;

- здатність добре заповнювати форму будь-якої складності.

Залежно від процесів, які лежать в основі формування виробів, способи шлікерного лиття поділяються на такі види:

- шлікерне формування у пористих формах;
- формування термопластичних шлікерів;
- електрофоретичне формування.

9.1 Шлікерне формування у пористих формах

9.1.1. Формування у пористих адсорбуючих формах.

Технологічний процес у таких формах полягає у тому, що шлікер заповнює форму, стінки якої *адсорбують* (відсмоктують) вологу зі шлікера і утворюють щільний виріб заданої товщини. Для виготовлення форми використовують матеріали, здатні поглинати рідину і хімічно інертні до шлікера.

Кращим таким матеріалом є зневоднений гіпс. Природний гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ подрібнюють, сушать при температурі $140 \dots 170^\circ\text{C}$. Отриманий порошок змішують з водою, створюючи масу типу «крему», і за допомогою спеціальних матриць виготовляють форму. Її сушать при температурі $50 \dots 65^\circ\text{C}$ протягом $4 \dots 150$ год.

Оптимальна дисперсність металевих порошоків залежить від виду металу і не може бути більше $4 \dots 40$ мкм. Для отримання кращого співвідношення частинок за розмірами подрібнення порошоків проводиться у дисперсійному середовищі. Звичайно шлікер містить $40 \dots 70\%$ (об.) металеві фази. Як дисперсійне середовище найчастіше використовують воду.

Формування заготовок, як правило, здійснюється «наливним» способом (рис. 9.1, а). Шлікер наливають у форму у декілька етапів, підтримуючи на кожному постійний півень її заповнення (товщину

стілки). Товстостінні вироби виготовляють шляхом встановлення у форму стрижнів різного профілю для отримання у виробі внутрішніх порожнин відповідної конфігурації.

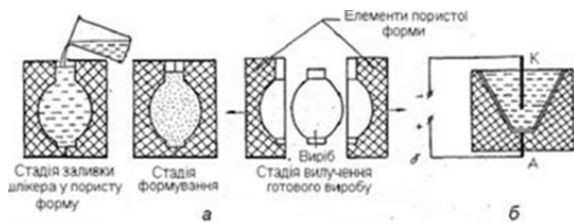


Рисунок 9.1 – Схема шлікерного формування у пористих формах (а) і електрофоретичним методом (б)

9.1.2. Формування у неадсорбуючих формах.

Для того, щоб здійснювати видалення дисперсійного середовища зі шлікера у *неадсорбуючих формах*, застосовуються наступні методи.

Форма може виготовлятися з перфорованого металевого листа з отворами діаметром 0,7...1,1 мм загальною площею отворів 30...40%. від поверхні форми. На внутрішню поверхню форми викладають шар паперу, а на нього – шлікер. Для відсмоктування зі шлікеру рідини ззовні форми створюється розрідження 20...25 Па.

Інший спосіб – рознімна форма, що виготовляється з пористого матеріалу на основі скляного порошку і пластику. Форму поміщають у спеціальну камеру і створюють тиск у декілька МПа, внаслідок чого рідина витискається зі шлікеру.

При методі виморожування неадсорбуюча формазі шлікером занурюється у ванну із суміші бензину і твердої вуглекислоти з температурою -40°C . Заморожену заготовку виймають з форми, поміщають у вакуумну камеру і «висушують» сублімацією.

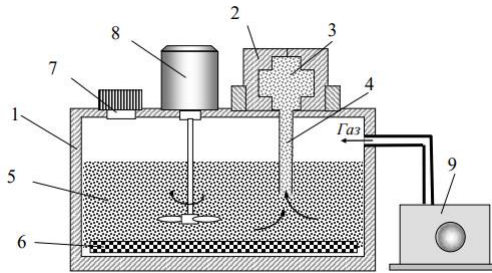
9.2 Формування термопластичних шлікерів

Термопластичні шлікери найчастіше використовуються для формування виробів з карбідів, нітридів, силіцидів тугоплавких металів. Термопластичну зв'язку виготовляють з легкоплавких речовин з низькою в'язкістю у рідкому стані (наприклад, парафін, віск, жири, смоли). Для зниження в'язкості у шлікер додають

поверхнево-активні речовини (ПАР) у кількості 0,05...0,20% (об.). Кількість зв'язки по об'єму шлікеру становить 8...15%.

Форми для використання термопластичних шлікерів у більшості випадків виготовляють зі сталі; для невеликих партій форми використовують менш міцні матеріали (алюмінієві сплави, пластмаси, гіпс тощо).

Шлікер з парафіновою зв'язкою нагрівають до 70...100⁰С і заливають у резервуар (рис. 9.2). Заповнення форми відбувається під тиском повітря 0,3...0,6 МПа. Тиск не знімається зо повного затвердіння шлікеру. Видалення зв'язки здійснюється повільним нагріванням заготовок в адсорбентах.



1 – резервуар; 2 – форма; 3 – виріб; 4 – трубка; 5 – шлікер; 6 – нагрівач;
7 – кришка; 8 – мішалка; 9 – компресор

Рисунок 9.2 – Схема формування термопластичних шлікерів

9.3 Електрофоретичне формування

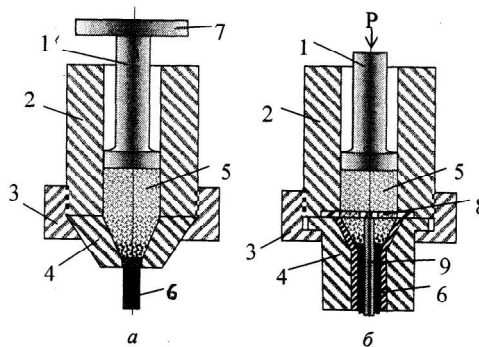
Електрофоретичне формування найчастіше застосовують для виготовлення крупногабаритних тонкостінних виробів з керамічних шлікерів. Вироби виготовляють у тонкостінних мідних формах, які виконують роль аноду; катодом служить стрижень у центрі форми (рис. 9.1, б). Вироби отримують шляхом пропускання струму через шлікер (анодна щільність струму 15...300кА/м², напруга 2...4 В). Швидкість формування у 3...6 раз більше, ніж при шлікерному формуванні у пористих формах. Час формування заготовок – декілька хвилин.

10 МУНДШТУЧНЕ ФОРМУВАННЯ

Суть мундштучного формування металевих порошків полягає у протисканні їх через отвір (очко). Метод дозволяє виготовляти довгомірні вироби – суцільні й порожнисті, з гладкою або змінною внутрішньою або зовнішньою поверхнями. Перевагою цього методу є можливість отримання рівномірної щільності по довжині виробу.

Обладнанням служать вертикальні і горизонтальні преси з тиском у оснастці до 300...500 МПа.

Оснастка – прес-форма, яка складається з матриці, мундштука і пуансона (рис. 10.1). Матриця – товстостінний сталевий циліндр. Знизу до нього приєднується тримачем змінний мундштук.



а – формування суцільних профілів; б – формування порожнистих профілів
 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – тримач мундштука; 4 – мундштук;
 5 – порошок; 6 – сформований виріб; 7 – плунжер преса; 8 – зірочка, що утримує голку; 9 – голка

Рисунок 10.1 – Схеми мундштучного формування

Для отримання у виробі отвору між матрицею і мундштуком вставляють зірочку – пластину з отворами, у центр якої угвинчена голка, яка відповідає внутрішньому діаметру отвору.

Як правило, висота мундштука повинна перевищувати діаметр його вихідного отвору у 2,5...4 рази.

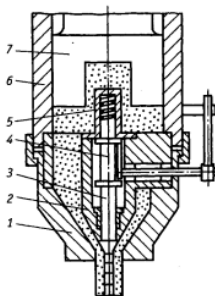
Від кута конуса мундштука залежить величина зусилля пресування. Кут конуса звичайно знаходиться у межах 40...90°. Найменше зусилля пресування забезпечує мундштук з кутом конуса 90°.

Щоб уникнути дефектів у заготовках і спечених виробів здійснюється попереднє *підпресовування* порошку, але підпресовані заготовки вимагають збільшення тиску, необхідного для витискання матеріалу через мундштук.

Для зменшення тертя порошку на внутрішню поверхню матриці та мундштука наносять мастила або вводять пластифікатори у порошкову суміш. Як пластифікатори використовують парафін, розчини каучуку в бензині, бакеліту у спирті, розчин полівінілового спирту у воді, олії, графіт тощо. Кількість пластифікаторів, що вводиться до складу порошку, зазвичай не перевищує 6...10% (за масою).

Швидкість протискання матеріалу через мундштук звичайно не перевищує 2...10 мм/с.

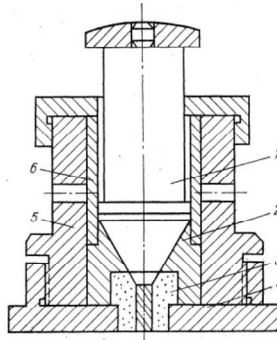
При виробництві труб зі змінним поперечним перерізом у мундштук встановлюється голка зі змінним перерізом, яка періодично переміщується за допомогою пружини і кулачка у напрямних зірочки (рис. 10.2).



1 – мундштук; 2 – зірочка; 3 – голка змінного перерізу; 4 – кулачок;
5 – пружина; 6 – матриця; 7 – пуансон

Рисунок 10.2 – Прес-форма для мундштучного формування труб зі змінним по висоті перерізом.

Для виготовлення суцільних виробів зі складною зовнішньою поверхнею (наприклад, свердел) використовуються прес-форми зі змінним мундштуком з твердих сплавів (рис. 10.3), внутрішня поверхня якого відповідає конфігурації відповідного виробу.



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

Рисунок 10.3 – Прес-форма для виготовлення мундштучним формуванням виробів зі складною зовнішньою поверхнею

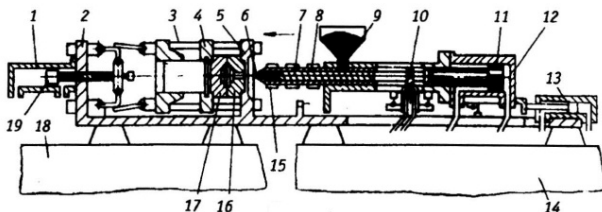
При формуванні нагрітих металевих порошоків пластифікатори не застосовуються. При відносно низьких температурах (до 600°C) порошок або спресовану заготовку нагрівають разом з матрицею.

Метали, які схильні до інтенсивного окиснювання при нагріванні (вольфрам, титан, молібден та ін.), нагрівають у захисній атмосфері або у захисних оболонках, якими можуть бути пластичні метали, скло, графіт.

ІНЖЕКЦІЙНЕ ФОРМУВАННЯ

Суть метода полягає у тому, що пластифікована порошкова суміш витискається і заповнює прес-форму. Практично він становить подальший розвиток мундштучного формування для отримання об'ємного виробу.

Головним обладнанням служить литвева машина (рис. 11.1), за конструкцією аналогічна литевим машинам для виготовлення виробів з композиційних матеріалів.



- 1 – гідроциліндр замикавання прес-форми; 2 – рама; 3 – колони; 4 – рухома плита; 5 – нерухома плита; 6 – сопло впорскування; 7 – шнек; 8 – матеріальний циліндр; 9 – бункер; 10 – привід шнека; 11 – поршень гідроциліндра; 12 – гідроциліндр упорскування; 13 – гідроциліндр переміщення інжекційного вузла; 14, 18 – станина; 15 – нагрівачі; 16, 17 – півформи прес-форми

Рисунок 11.1 - Схема литвевої машини для інжекційного формування

Литвева машина складається з наступних вузлів: інжекційного, пресування, приводу і керування.

У склад інжекційного вузла входять бункер, матеріальний циліндр, у якому обертається і періодично рухається поступально шнек. На поверхні матеріального циліндра знаходяться зонні нагрівачі. Між прес-формою і матеріальним циліндром знаходиться сопло впорскування.

Основу вузла пресування становлять рухома і нерухома плити і механізм замикавання. На плитах кріпляться відповідні півформи прес-форми.

У вузол приводу входять два типи механізмів: гідроциліндри переміщення шнека, інжекційного вузла в цілому і механізму замикавання, а також механізм обертання шнека.

Вузол керування забезпечує можливість роботи як у ручному, так і в автоматичному режимах.

Робота інжекційної литтєвої машини має такі технологічні особливості.

Для виготовлення виробів використовуються металеві порошки з розміром частинок до 10 мкм (бажано 1...5 мкм). Вміст порошоків у суміші становить 40...90% (об.). Як зв'язку використовують термопластичні смоли (полістирол, поліетилен), віск, парафін та пластифікатори - ефіри жирних кислот, мінеральні масла, стеаринова кислота та ін.

Суміш металевих порошоків зі зв'язкою (так званий «пластизоль») перед впорскуванням нагрівають до температури 160⁰С. Щільність отримуваних формовок становить близько 70%. Видалення зв'язки проводять нагріванням до температури 300⁰С або розчиненням. Після видалення пластифікатору формовку спікають. Внаслідок спіканні формовка ущільнюється до відносної щільності 96%, а усадка при цьому становить 15...20%.

Перевагами інжекційного формування є можливість отримувати дуже точні деталі складної конфігурації; малий цикл формування (лише 1,5...2 хвилини), що забезпечує можливість високого ступеня автоматизації виробництва.

Методом інжекційного формування звичайно виготовляють вироби масою від 0,1 до 150 г з мінімальними розмірами 0,75...5 мм.

Для виробництва виробів інжекційним формування може використовуватися автоматична лінія, яка складається з машини інжекційного формування, печі видалення зв'язки, конвеєрної печі спікання (з зонами підігрівання, спікання і охолодження) і зони вивантажування готових виробів.

12 ІМПУЛЬСНЕ ФОРМУВАННЯ

Імпульсне формування – це формування металевого порошку, при якому ущільнення здійснюється ударними хвилями в інтервалі часу, що не перевищує 1 с. При високих швидкостях деформування порошку тепло, що виділяється внаслідок деформування частинок та наявного терті, приводить до їх зварювання. Основною перевагою імпульсного формування є можливість створення надзвичайно високих тисків і, відповідно, - високої щільності формовки, близькою до 100%.

У залежності від виду джерела енергії розрізняють вибухове, електрогідравлічне, електромагнітне та пневмомеханічне формування.

12.1 Вибухове формування

В момент детонації вибухової речовини (ВР) продукти вибуху створюють ударну хвилю величезної сили. Внаслідок дії ударної хвилі стискальні напруження поширюються з поверхні вглиб порошкового матеріалу, забезпечуючи високу швидкість його деформування.

Існує декілька варіантів передавання енергії вибуху порошковому тілу:

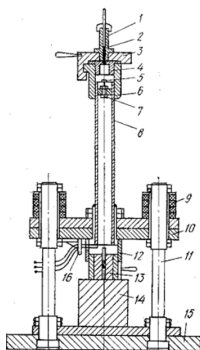
- через рухоме тверде тіло – поршень (ствольні системи);
- безпосередня дія ударної хвилі (контактний метод);
- через рідину (гідродинамічний метод).

Ствольні системи (порохові копри, рис. 12.1) надають снаряду швидкість до 600 м/с. Кінетична енергія у момент удару залежить від маси і фактичної швидкості снаряда.

При *контактному формуванні* вибухова речовина розташовується безпосередньо на контейнері з порошком. Реакція детонації поширюється поступово зі швидкістю 3000...7000 м/с і з температурою до 5000⁰С; час імпульсного тиску – (5...9)·10⁻⁶ с.

На рис. 12.2 наведені типові схеми контактного формування. Залежно від розташування вибухової речовини відносно контейнера з металевим порошком створюється нормальний або тангенціальний рух продуктів детонації заряду

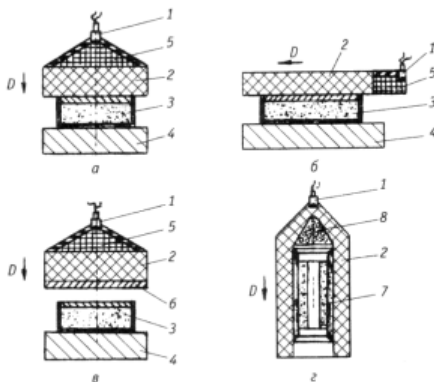
Оснасткою служить металевий контейнер, закритий зверху рухомою пластиною. Пластина-ударник розганяється до швидкості



1 – ударний механізм; 2 – бойок; 3 – затвор; 4 – пороховий заряд; 5 – шпилька;
6 – нерухома частина затвора; 7 – снаряд; 8 – ствол; 9 – амортизатори; 10 – верхні
плити; 11 – колони; 12 – центрувальна втулка; 13 – прес-форма; 14 – підставка;
15 – опорні плити; 16 – контакти

Рисунок 12.1 – Схема ствольної порохової установки

500...1500 м/с. Підпалювання вибухової речовини здійснюється електродетонатором.



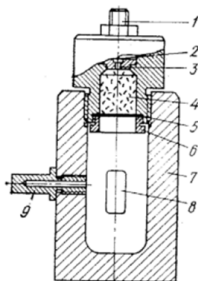
а – плоскою нормальною хвилею; б – тангенціальною хвилею; в – метанням пластини-ударника; г – кільцевою хвилею, що ковзає

1 – електродетонатор; 2 – заряд ВР; 3 – контейнер з порошком; 4 – основа;
5 – генератор плоскої хвилі; 6 – пластина-ударник; 7 – ампула порошком і стрижнем;
8 – пористий конус

Рисунок 12.2 – Типові схеми контактного формування порошків за допомогою ВР

Гідродинамічний метод полягає у тому, що при запалюванні порохового заряду тиск газів передається у робочу камеру (рис. 12.3)

через розділювальний поршень і ущільнює металевий порошок в еластичній герметичній оболонці, розташованій у робочій рідині (суміш води і емульсолу). Максимальний тиск у робочій камері – до 600 МПа, тривалість імпульсу не більше $5 \cdot 10^{-2}$ с.



1 – ударний механізм; 2 – головка; 3 – капсуль; 4 – заряд порошу; 5 – мембрана;
6 – гайка; 7 – корпус; 8 – металевий порошок; 9 - динамометр

Рисунок 12.3 – Схема установки вибухового формування у рідині

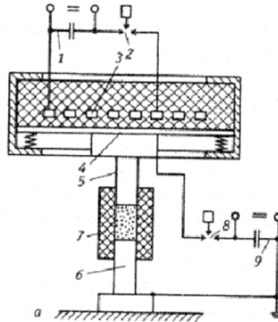
12.2 Електрогідралічне формування

Процес здійснюється розрядом конденсатора через зазор між двома електродами, зануреними у рідину. Електричний розряд у рідині викликає випаровування рідини і як результат – створення ударної хвилі. Характер деформування залежить від форми матриці, напруги на електродах (звичайно 10...30 кВ) та їх форми, електропровідності рідини. Наприклад, при розряді конденсатора ємністю 1800 мкФ і напрузі 4,4 кВ створюється тиск 250 МПа.

12.3 Електромагнітне формування

Електрична енергія, що запасена у конденсаторі, індуктором перетворюється в енергію імпульсного магнітного поля. Деформування електропровідного порошку забезпечують сили, створені взаємодією вихрових струмів, які виникають у порошок, зі струмом, що проходить через індуктор. Процес триває 10...30 мкс.

Для створення магнітних імпульсів різної конфігурації застосовують плоскі, спіральні, соленоїдні та інші індуктори. Один з прикладів установки для електромагнітного формування наведений на рис. 12.4.



1, 9 – конденсаторні батареї; 2, 8 – розрядники; 3 – плоский індуктор; 4 – плита-штовхач; 5 – верхній пуансон; 6 – нижній пуансон; 7 – матриця
Рисунок 12.4 – Схема установки імпульсного електромагнітного формування

12.4 Пневмомеханічне формування

Пневматичне формування здійснюється за рахунок енергії, яка виділяється при адіабатичному розширенні сильно стисненого газу. Найпоширеніша установка складається з двох камер, розташованих одна над однією. У нижній камері знаходиться поршень зі штоком, на кінці якого закріплений робочий інструмент. Поршень підтримується у верхньому положенні тиском повітря у 135...340 кПа і перекриває отвір верхньої камери (камери згоряння). Коли у камеру згоряння подається паливо і підпалюється свічею, продукти згоряння високого тиску попадають у робочу камеру і надають поршню, а з ним і робочому інструменту відповідну кінетичну енергію. Коли продукти згоряння випускаються з камери згоряння, поршень під тиском повітря знову підіймається вгору, перекриває отвір камери згоряння, і цикл повторюється.

Іноді використовується установка двобічного ударного формування, що також має два спарені циліндри (гідралічний і пневматичний), які працюють послідовно. Гідралічний циліндр відіграє допоміжну роль, відновлюючи енергію стисненого газу, витрачену під час удару.

13 ВІБРАЦІЙНЕ ФОРМУВАННЯ

Суть вібраційного формування полягає у тому, що ущільнення відбувається за рахунок вібрування при статичному тиску пуансонів. Це дозволяє у декілька разів знизити зусилля пресування, отримувати рівномірніший розподіл щільності у пресовці, виготовляти вироби складної конфігурації.

Використовуються головним чином три схеми вібраційного ущільнення (рис. 13.1): за допомогою «вібруючих пуансонів», «вібруючих матриці і пуансонів» та «вібруючої матриці».

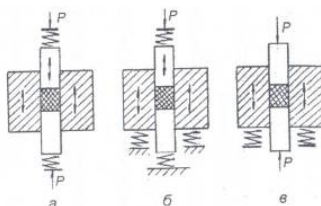


Рисунок 13.1 – Схеми вібраційного формування за допомогою: а - «вібруючих пуансонів», б - «вібруючих матриці і пуансонів», в - «вібруючої матриці»

Ущільнення під дією динамічних зусиль змінної величини відрізняється тим, що пластичному деформуванню передують структурний перерозподіл частинок за рахунок вібрації. Вібраційне формування під дією власної ваги або прикладеного тиску характеризується високим ступенем структурного деформування, що дозволяє отримувати високу щільність без прикладання значного зовнішнього тиску.

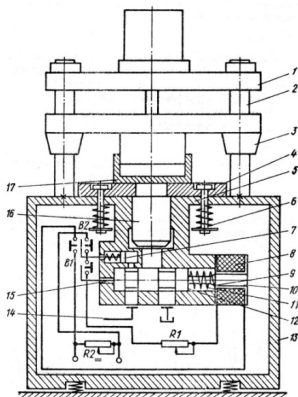
На процес ущільнення і властивості кінцевого виробу впливають параметри вібрації, властивості вихідних порошків, час процесу, геометрія і розміри виробу. Режим формування характеризується частотою коливань (Гц), прискоренням ($\text{см}/\text{с}^2$) і амплітудою (см). Частота вібрації залежить від форми і розмірів частинок, їх густини, розмірів виробу в цілому тощо. Найбільша швидкість ущільнення спостерігається при резонансних частотах вимушених коливань системи і власних коливань частинок порошку.

Для покращення щільності при зменшенні розмірів частинок необхідно збільшувати частоту і зусилля деформування. Для крихких матеріалів обирають високу частоту при меншій амплітуді та постійному прискоренні.

Вібраційне формування здійснюється на вібропресах. Типова конструкція вібропреса: корпус, напрямні, по яких рухається траверса з пуансоном, нерухомий стіл з матрицею, вібратор, органи керування. Вібрація може бути в одному або у двох напрямках.

Прес-форми вібропресів можуть бути металевими, керамічними і графітовими. Останні використовуються тоді, коли виготовляють високопористі вироби, які спікаються разом із формою.

Вібропрес з одним силовим циліндром наведений на рис. 13.2.



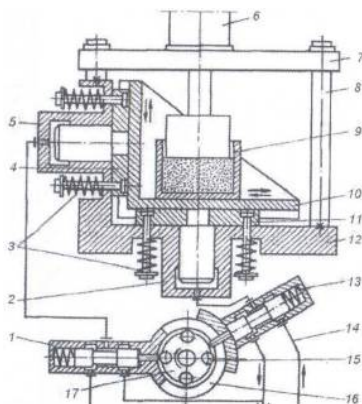
1, 3 – траверси; 2 – напрямні; 4 – стіл; 5 – робочий циліндр; 6 – зворотні пружини; 7 – плунжер; 8 – електромагніт; 9 – пружина пульсатора; 10 – осердя електромагніта; 11, 15 – штоки пульсатора; 12 – золотник; 13 – корпус; 14 – магістраль; 16 – поршень; 17 – прес-форма.

Рисунок 13.2 – Схема вібропреса з одним силовим циліндром

Вібраційний вплив на прес-форму (поз. 17, рис. 13.2) і відповідно на порошок передається через робочий поршень (поз. 16, рис. 13.2) і зворотні пружини (поз. 6, рис. 13.2).

Для виготовлення великогабаритних виробів складної конфігурації використовуються вібропреси з двома силовими циліндрами, які працюють у двох різних площинах (рис. 13.3).

Під час роботи циліндра вертикального переміщення (поз. 2, рис. 13.3) здійснюється загальне ущільнення порошки по вертикалі.



1 – золотник; 2 – гідроциліндр вертикального переміщення; 3 – зворотні пружини; 4, 8, 11 – напрямні; 5 – гідроциліндр горизонтального переміщення; 6 – пристрій для навантаження; 7 – нерухома траверса; 9 – прес-форма; 10 – платформа; 12 – корпус; 13 – золотник; 14 – магістраль високого тиску; 15 – ролики; 16 – статор; 17 – ротор

Рисунок 13.3 – Схема вібропреса з двома силовими циліндрами

Одночасно за рахунок роботи робочого циліндра (поз. 5, рис. 13.3) відбувається його ущільнення у горизонтальному напрямку. Рівномірність ущільнення забезпечується обертанням навколо вертикальної осі ротора (поз 17, рис. 13.3).

У вібропресах використовуються такі типи вібраторів: гідравлічні, пневматичні, електромеханічні (з дебалансним валом) та ін. Між вібраторами і деталями прес-форми створюється жорсткий зв'язок.

Найефективніше вібрування проявляється при формуванні виробів з порошків, що складаються з набору частинок різного розміру. Вібраційне формування найчастіше застосовується для ущільнення порошків малопластичних металів. З них удасться отримати щільні (щільність – 75...85%) і міцні пресовки при невеликому тиску (0,3...0,6 МПа).

14 АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Адитивні технології – це процес пошарового створення виробу з порошкового матеріалу за 3D-моделлю, заданою конструктором. 3D-модель – «будівельний» файл, фактично - набір креслень, цифровим обробленням розділений на тонкі шари з товщиною, яка відповідають товщині шарів, що наносяться,

На практиці використовуються два варіанти адитивних, або *додаваних*, технологій, які відрізняються за методами формування шарів металлу у виробі.

Перший варіант – *осаджування на основі-підкладці* (ООП – Bed Deposition) – полягає у тому, що у робочій камері, заповненій металевим порошком, на певній основі-підкладці створюється доза порошку. Його розрівнюють за допомогою ролика або «ножа», створюючи таким чином рівний шар матеріалу заданої товщини. Після цього порошок у сформованому шарі лазером або іншим способом зварюють частинки порошку згідно з властивою для цього шару програмою, заданої 3D-моделлю виробу. Після закінчення зварювання шару основа-підкладка *опускається* на товщину наступного шару (рис. 14.1), і процес повторюється.



Рисунок 14.1 - Схема виготовлення виробу осаджуванням на основі-підкладці

Шар за шаром товщиною 20...50 мкм частинки порошку сплавляються, формуючи деталь. Фактично вона, *оточена з усіх боків порошком*, і таким чином, спираючись на невитрачений матеріал,

«вирощується» знизу вгору, поступово опускаючись. Лазерний промінь плавить порошок та з мікронною точністю створює деталі найскладнішої конфігурації, керуючись відповідною програмою. При цьому отримують деталі зі щільністю понад 99%.

Другий варіант - *спрямоване осаджування* (CO – Directed Deposition) – полягає у тому, що за програмою 3D-моделі виріб також формується на певній основі-підкладці послідовно, шар за шаром. Але відмінність полягає у тому, що робоча основа-підкладка знаходиться на відкритій платформі, і на ній *спрямовано* підводиться одночасно і енергія (лазерний або електронний промінь), і будівельний матеріал (у вигляді порошку або порошкового дроту). Тобто, деталь нарощується пошарово знизу вгору, починаючи з основи-підкладки (рис. 14.2).

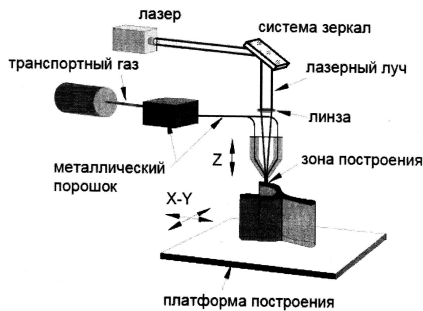


Рисунок 14.2. Схема виготовлення виробу спрямованим осаджуванням

Проблемою адитивних, технологій є необхідність використання високоякісних і досить коштовних порошоків. Порошки для адитивних технологій повинні бути хімічно однорідними, бажано сферичної форми, мати знижений вміст газових домішок. Середній розмір частинок принаймні 50% об'єму має бути не більше 40 мкм. Чим менше середній розмір частинок порошку, тим менший крок побудови виробу можна використати, а це означає, що можна досягти меншу шорсткість поверхні деталі та рельєфніше проробити її дрібні елементи. Проте лазером моментально вводиться велика кількість енергії: процес плавлення йде бурхливо, і метал частково розбризкується. Тому при роботі з дрібнодисперсними порошками (діаметром не більше 10 мкм) використовуються малопотужні лазери для виготовлення мікродеталей.

Адитивні технології, практично безвідходні на відміну від традиційних, вигідні в умовах дрібносерійного виробництва, вимірюваного десятками або сотнями виробів. Таких виробів, найчастіше складної геометрії, зі спеціальних матеріалів досить багато в авіаційній промисловості, космічній індустрії, енергетичному машинобудуванні і низці інших галузей.

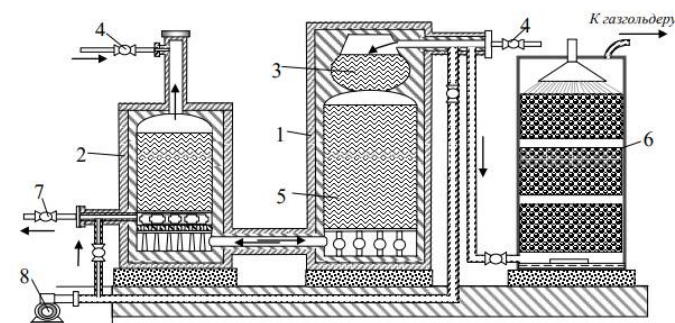
15 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАХИСНИХ АТМОСФЕР

У порошковій металургії захисні атмосфери використовуються для різноманітних операцій, у тому числі й при спіканні. Найчастіше як захисні середовища використовують: водень, конвертований газ, енто- і екзогази, дисоційований аміак, інертні гази та вакуум.

15.1 Обладнання для отримання водню

Водень найчастіше отримують залізо-паровим методом.

Установка складається з генератора водню і підігрівача, викладених зсередини шамотом і з'єднаних між собою горловинами (рис. 15.1).



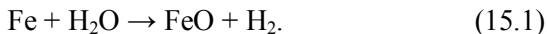
1 – генератор водню; 2 – підігрівач пари; 3 – теплообмінник; 4 – клапани подавання первинної пари; 5 – відділення генерування водню; 6 – скруббер; 7 – клапан регулювання тиску пари; 8 – насос

Рисунок 15.1 – Установка для виробництва водню залізо-паровим методом

Генератор водню поділений шамотним склепінням на дві нерівні частини. У верхній частині насадка служить для підігрівання продуктів реакції, у нижню завантажуються залізна руда. Підігрівач, викладений вогнетривами, служить для підігрівання водяної пари.

Водень виробляється періодично. Спочатку сировина, яка містить залізо (руда, окалина), закладена у нижню частину генератора, відновлюється газоподібним або твердим відновлювачем при температурі $800...900^{\circ}\text{C}$ до металевого заліза або FeO . Гази, що утворюються при цьому, використовуються для нагрівання підігрівача.

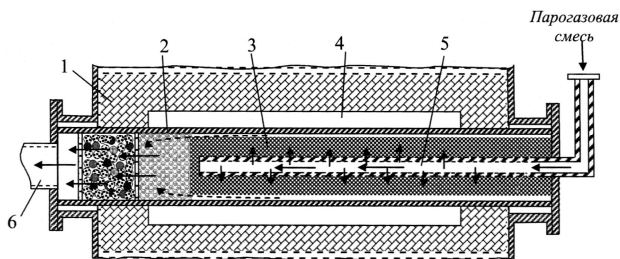
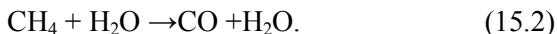
У другий період в генератор подається водяна пара, підігріта у підігрівачі до температури 900° , де вона розкладається з виділенням водню. У генераторі відбувається реакція виділення водню за реакцією:



Суміш водню і залишкової пари охолоджується до $300 \dots 400^{\circ}\text{C}$ і через скруббер (для очищення) направляється у газгольдер. Отриманий газ містить до 98% водню.

15.2 Обладнання для отримання конвертованого газу

Конвертований газ отримують у *конвективних печах* (рис. 15.2) конверсією природного газу метану с водяною парою:



1 – теплоізоляція печі; 2 – реактор; 3 – шамотний муфель з нікелевим каталізатором; 4 – топкові зазори для нагрівання реактора; 5 – перфорована труба; 6 – труба для відведення відновлювача
Рисунок 15.2 – Схема конвективної печі

Конвективна піч – реактор, який складається з карбофраксової труби діаметром 240 мм, у середині якої з концентричним зазором встановлена пориста шамотна труба. У її порах закладений нікель як каталізатор. Реактор оточений теплоізоляцією.

Парогазова суміш (співвідношення метану до водяної пари дорівнює 1:1,3) готується у скрубєрі зрошуванням газу гарячою водою. Підігріта до температури 85°C парогазова суміш поступає у

конвективну піч, де й відбувається конверсія. Реактор ззовні нагрівається газовими пальниками

Конвертований газ після очищення за якістю захисту не поступається водню, але значно дешевше його.

15.3 Обладнання для отримання ендо- і екзогазів

Ендо- і *екзогази* отримують спалюванням природного газу при певній нестачі повітря, яка характеризується коефіцієнтом $\alpha_{\text{пов}}$ - часткою повітря від кількості, необхідної для повного спалювання. Для *ендогазу* $\alpha_{\text{пов}} = 0,25 \dots 0,30$.

Спочатку газ проходить через фільтр-каталізатор, нагрітий до температури $300 \dots 350^{\circ}\text{C}$. Камера спалювання (реторта) знаходиться в електропечі при температурі близько 1050°C . Для прискорення реакції реторту заповнюють нікелевою стружкою.

Процес спалювання йде у два етапи. На першому етапі частина метану спалюється повністю; на другому надлишковий метан взаємодіє з продуктами першої реакції (CO_2 і H_2O) з утворенням відновлювачів – H_2 і CO .

На виході з реторти ендогаз охолоджується в охолоджувачі з водяною сорочкою.

Екзогаз відрізняється тим, що в суміш перед спалюванням подається більша кількість повітря ($\alpha_{\text{пов}} = 0,6$). При згорянні газу виділяється достатня кількість тепла, тому додаткового зовнішнього тепла не треба. У зв'язку з цим конструкція установок спрощується. Установки мають звичайну металеву топку з кладкою з вогнетривів.

Залежно від кількості повітря, що подається в реактор, розрізняють багатий і бідний екзогаз (таблиця 15.1).

Для очищення екзогаз пропускають через рефрижератор (охолодження до температури $3 \dots 5^{\circ}\text{C}$) і молекулярні сита для затримки CO_2 і H_2O .

Таблиця 15.1 - Склад газів, отримуваних з природного газу

Вид газу	Складові гази, %% (об)				
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂
Ендогаз $\alpha_{\text{пов}} = 0,25 \dots 0,30$	38...40	18...20	1	1	решта
Багатий екзогаз $\alpha_{\text{пов}} = 0,6$	15...18	10...13	4...5	до 1	«
Бідний екзогаз $\alpha_{\text{пов}} = 0,9$	0,7	0,7	10...13	-	«
Конвертований газ	95...98	сліди	сліди	1,5	-

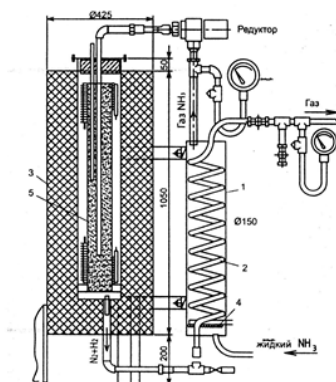
15.4 Обладнання для отримання дисоційованого аміаку

Дисоційований аміак служить джерелом воднево-азотної суміші:



Установка для отримання дисоційованого аміаку складається з блока балонів з рідким аміаком, випарника, дисоціатора, пристроїв для очищення отриманих газів від вологи.

Рідкий аміак з балонів поступає у випарник (рис. 15.3) у вигляді циліндра, всередині якого знаходиться змійовик. Спочатку випарник підігрівають електричним підігрівачем, а при усталеному режимі випарник підігрівається за рахунок тепла продуктів дисоціації у змійовику.



1 – випарник; 2 – змійовик; 3 – піч; 4 – підігрівач; 5 - реторта
Рисунок 15.3 – Випарник і дисоціатор аміаку

Підігрітий аміак поступає у реторту, нагріту нагрівачем до температури 700°C . У реторті відбувається реакція дисоціації. Для її прискорення у реторту поміщають каталізатор – залізну стружку і оксиди заліза. Отримані газу осушують і охолоджують. З 1 м^3 газоподібного аміаку отримують 2 м^3 газу, який містить 75% H_2 і 25% N_2 (об.).

15.5 Використання аргону і гелію

Аргон отримують з повітря методом роздільного випаровування на кисневих заводах, ретельно очищують від решток кисню та азоту. Постачають на виробництво в балонах об'ємом 40л під тиском 15МПа.

Промисловий *гелій* отримують з природних газів, в яких він міститься у кількості близько 0,2%, а у деяких родовищах – до 8%. Гелій виділяють з природних газів методом глибокого охолодження. Первинний гелій має концентрацію 90%. Після очищення вміст домішок не перевищує соті частки відсотка.

15.6 Використання вакууму

Вакуум застосовують у печах з газощільним корпусом і вакуумними затворами рухомих частин. Вакуум створюється вакуумними насосами.

Вакуум від 1 до 0,1 Па створюється *механічними насосами*. Послідовно працюють форвакуумні та роторні насоси. Вони характеризуються швидкістю відкачування і граничним вакуум, який може створити насос.

Більший вакуум від 10^{-1} до 10^{-4} Па створюється парострумінними масляними насосами. Вони створюють розрідження за рахунок випаровування масла. Його пара з великою швидкістю витікає із зонтичних сопел, тягнучи за собою частинки повітря. Потім масло конденсується, стікає у нагрівач, і цикл повторюється.

Масляні насоси поділяються на бустерні (великої продуктивності, розрідження $1,0 \dots 0,01$ Па) і високовакуумні дифузійні (розрідження 10^{-1} до 10^{-4} Па). Для нормальної роботи масляних насосів необхідно мати на їх вході тиск близько 1 Па, який створюється за допомогою механічних насосів.

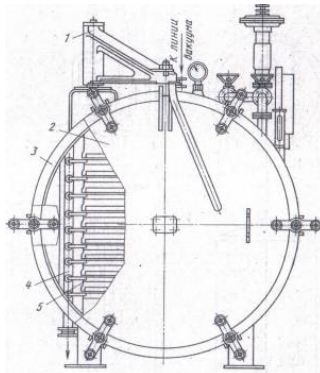
16 СУШІЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

Сушільне обладнання призначено для сушіння вихідних порошків після мокрого розмелювання. У деяких випадках сушінню піддаються й пресовки, для виготовлення яких у порошок суміш додавалися зв'язуючі речовини (розчини каучуку, парафіну та деяких клеїв). Сушіння виконується у сушарках періодичної і безперервної дії, у дистильаторах та інших пристроях.

16.1 Сушарки періодичної дії

16.1.1 Полична вакуумна сушарка.

Полична вакуумна сушарка становить циліндричний апарат з двома торцевими кришками (рис. 16.1). Всередині змонтовані полиці – порожнисті плити.



1 – кронштейн; 2 – кришка; 3 – корпус; 4 – колектор; 5 – плити-підігрівачі

Рисунок 16.1 – Вакуумна сушарка

Порожнисті плити підігріваються паром або гарячою водою. На них у піддонах завантажуються сирий порошок. Апарат герметизується, створюється вакуум, і порошок висушується до заданої вологості.

16.1.2. Полична піч атмосферного нагрівання.

Полична піч атмосферного нагрівання – це прямокутна шафа, стінки якої мають термоізоляцію (рис. 16.2). Всередині знаходяться знімні полиці-лотки, в яких знаходиться порошок, що сушиться. Піч нагрівається гарячим повітрям, яке нагрівається калориферами. Для

прискорення сушіння у печі вентилятором створюється циркуляція повітря.

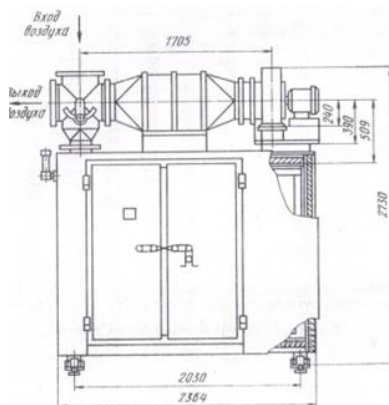


Рисунок 16.2 – Полична піч-сушарка

16.1.3 Дистилятори.

Дистилятори використовуються для сушіння суміші, розмеленої у спирті. Суміш поміщається у циліндричний корпус, що обігрівається паром або гарячою водою. Пульпа безперервно перемішується мішалкою. Спирт, що випаровується, подається у змійовик холодильника у вигляді циліндра, заповненого холодною водою. Пара спирту, проходячи через змійовик, конденсується і переходить у рідинний стан.

Після видалення спирту суміш охолоджується холодною водою, яка подається у охолоджувальну сорочку корпусу.

16.2. Сушарки безперервної дії

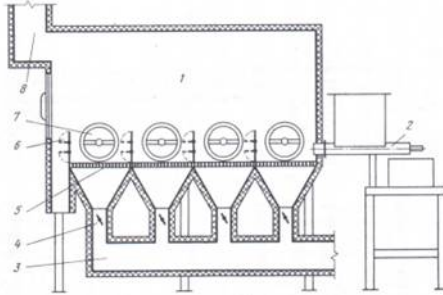
16.2.1. Сушарки з псевдозрідженим шаром (тип I).

Такі сушарки становлять два конуси, з'єднані меншими діаметрами. У місці стику знаходиться решітка, під яку подається потік гарячого газу, створюючи на решітці псевдозріджений шар вологого порошку.

В міру висушування порошок по похилому живильнику попадає на вихідний транспортер. Відпрацьований газ випускається через циклони, в яких додатково відділяють дрібні фракції порошку.

16.2.2. Сушарки з псевдозрідженим шаром (тип II).

У сушільній камері решітка поділена на секції перегородками (рис. 16.3). Гарячий газ подається знизу. У кожній секції регулюються свої інтенсивність і температура подачі газу, тобто створюється свій режим сушіння.



- 1 – камера; 2 – живильник вологої суміші; 3 – підвід теплоносія; 4 – шибер;
5 – решітка; 6 – переливний поріг; 7 – люк; 8 – вихід відпрацьованого газу

Рисунок 16.3 – Сушилка з псевдозрідженим шаром

Товщина шару суміші регулюється висотою перегородок. Висушений порошок у міру накопичування переміщається («переливається») у наступну секцію, і в кінці потоку зсипається у збірник.

16.3. Розпилювальні сушарки

Суть роботи розпилювальних сушарок такий: потік вологого матеріалу розпилюється у газовому середовищі. Продукти розпилювання сушаться за рахунок високої температури газу. Сушарки поділяються на сушарки з форсуночним і дисковим розпилюванням.

16.3.1. Сушарки з форсуночним розпилюванням.

Сушарки з форсуночним розпилюванням мають циліндричний корпус з конусом знизу для збирання висушеного матеріалу (рис. 16.4).

Волога суміш подається зверху через форсунки, а гарячий газ – знизу. Залежно від конструкції потік газу може йти паралельно потоку суміші, може закручуватися або йти на протипотоці. Сушарки з форсуночним розпилюванням використовуються для сушіння сильно розбавлених суспензій.

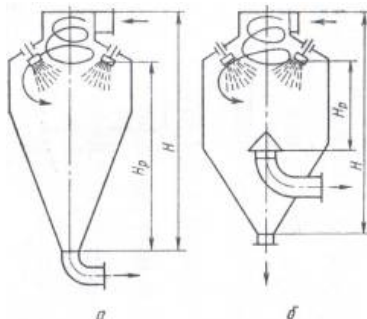


Рисунок 16.4 – Схеми форсуночних сушільних камер: прямої (а) та із закрученим підводом теплоносія (б)

16.3.2. Сушарки з дисковим розпилюванням.

Конструкція цих сушарок подібна до конструкції форсуночних розпилювальних сушарок. Різниця полягає у тому, що у верхній частині знаходиться диск, що обертається з великою швидкістю (рис. 16.5).

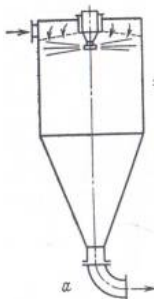


Рисунок 16.5 – Схема сушилки з дисковим розпилювачем

На диск подається розпилювальний матеріал. Потік гарячого газу подається у корпус тангенціально або паралельно стінкам.

Перевагами розпилювальних сушарок є висока продуктивність, малий час сушіння (виключається окиснення), висока якість просушування, діапазон температур - від 160 до 1200^{°C}, а також універсальність стосовно вихідних матеріалів.

16.4. Конвеєрні печі.

Конвеєрні печі служать для сушіння і видалення зв'язки з пресовок. Заготовки у лотках пересуваються стрічковим конвеєром (ланцюговим або сітчастим). Подина установки нагрівається ніхромовими нагрівачами у шамотних плитах. Над конвеєром встановлені лампи інфрачервоного випромінювання, які нагрівають безпосередньо заготовки на лотках. Лампи потужністю 200...500 Вт встановлені у 4 ряди у шахматному порядку; відстань між осями ламп близько 200 мм. Робоча температура сушіння – 400⁰С. На конвеєрі можна організувати захист від окиснення (напр., вакуум).

17 ПЕЧІ ДЛЯ СПІКАННЯ

Спикання пресовок проводиться у захисній атмосфері при заданій температурі і певній витримці у печі. Вибір печі залежить від властивостей матеріалу пресовки, необхідних умов спікання, продуктивності тощо.

Печі для спікання класифікуються за такими ознаками:

- за джерелом енергії – електричні та полум'яні;
- за принципом дії – періодичної та неперервної дії;
- за характером робочої атмосфери – з повітряною, нейтральною, відновлювальною атмосферою або вакуумом;
- за робочою температурою – низькотемпературні (до 1250⁰C) і високотемпературні (понад 1250⁰C);
- за ступенем автоматизації – автоматичні, напівавтоматичні із ручним керуванням.

17.1 Печі періодичної дії

Найчастіше це електричні печі. За способом нагрівання електричні печі можуть бути печами прямого, непрямого та індукційного нагрівання.

17.1.1. Печі прямого нагрівання.

Печі прямого нагрівання служать для спікання видовжених виробів з тугоплавких металів перед подальшим обробленням (допресовування, калібрування тощо). Струм пропускається безпосередньо через виріб. Час спікання становить декілька секунд, тому витрати на окиснення мінімальні.

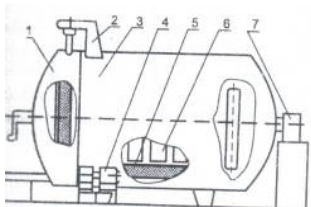
Установка складається з джерела живлення, знижувального трансформатора, швидкодіючих затискачів.

17.1.2. Печі опосередкованого нагрівання.

Конструктивно залежно від способу завантажування або вивантажування виробів печі опосередкованого нагрівання поділяються на декілька видів: камерні печі із завантажуванням у горизонтальній площині через дверцята; шахтні (завантаження зверху); елеваторні (вироби піднімаються знизу вгору); ковпакові тощо.

Основою конструкції служить металевий корпус, викладений зсередини вогнетривкою термоізоляцією (рис. 17.1). Як нагрівачі використовують дріт, стрічки, стрижні з матеріалів, які мають великий

електричний опір (наприклад, ніхром, графіт, молібден, силіт та ін.). Іноді печі всередині додатково мають екрани (з графіту, молібдену) для захисту стін від нагрівання. Нагрівачі з графіту і молібдену вимагають захисну атмосферу, недовговічні і коштують дорого.



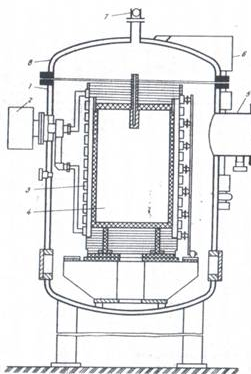
1 – відкидна кришка; 2 – механізм відкриття кришки; 3 – корпус;
4 – механізм викочування поду; 5 – камера нагрівання; 6 – нагрівачі;
7 – привід вентилятора

Рисунок 17.1 – Камерна вакуумна піч опору з викочуваним подом

17.1.3. Печі індукційного нагрівання.

Пряме індукційне нагрівання ґрунтується на створенні у виробі вихрових струмів. Цим скорочується час нагрівання. Але пори у пресовках збільшують опір, тому іноді їх важко нагрівати. Застосовується для виробів простої конфігурації.

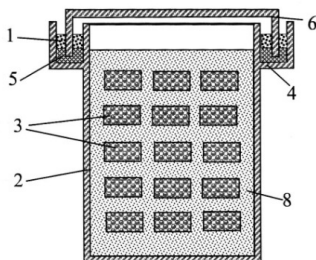
При *індукційному непрямому нагріванні* вихрові струми наводяться у листах-нагрівачах (контейнерах) навколо виробів (рис. 17.2).



1 – корпус; 2 – підвід струму; 3 – індуктор; 4 – контейнер-нагрівач; 5 – патрубок вакуумної системи; 6 – механізм підйому кришки; 7 – вікно; 8 – кришка

Рисунок 17.2 –Вакуумна піч індукційного нагрівання

У деяких випадках непряме індукційне нагрівання проводять у термоізоляційних засипах (рис. 17.3).



1 – гранули плавкого затвору; 2 – контейнер; 3 – виробни; 4 – кишенья;
5 – плавкий затвор; 6 – кришка; 8 – засипка

Рисунок 17.3 – Контейнер з плавким затвором

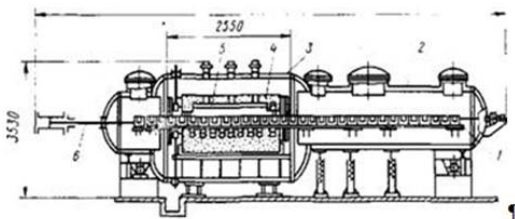
Вироби завантажують у контейнер, пересипаючи засипами (кварцовий пісок, графітна крупа, глинозем). Кришку контейнера герметизують плавкими затворами (скляна крупка, борний ангідрид тощо).

Такі печі використовуються у дрібносерійному виробництві.

17.2 Печі неперервної дії

Печі неперервної дії мають високу продуктивність, нижчі витрати на спікання і використовуються переважно у масовому виробництві.

Звичайно такі печі видовжені, мають три зони: вхідна, спікання і охолодження (рис.17.4).



1 – станина; 2 – зона охолодження; 3 – зона спікання; 4 – термоізоляція;
5 – нагрівачі; 6 – механізм руху заготовок

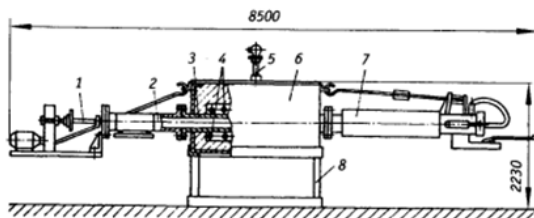
Рисунок 17.4 –Вакуумна піч неперервної дії

За способом транспортування печі поділяються на конвеєрні, рольгангові, штовхальні та з крокувальним подом.

У *конвеєрних печах* конвеєрна стрічка рухає вироби у піддонах назустріч потоку гарячих газів зі швидкістю 2...3 м/год. Ширина конвеєрної стрічки 300...600 мм. Загальна довжина печі 15...20 м при довжині зони спікання 6...10 м. Робоча температура печі 1200...1600⁰С.

Рольгангові печі переміщують заготовки за допомогою розташованих по її довжині роликів з індивідуальним приводом. Швидкість переміщення коробів з виробами можна регулювати згідно із заданим циклом спікання. Звичайна температура печі – 1200⁰С.

Штовхальні муфельні печі найпростіші за конструкцією (рис. 17.5).



- 1 – механічний штовхач; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – муфель печі;
4 – електронагрівач; 5 – термопара; 6 – корпус печі; 7 – розвантажувальний патрубок; 8 – підставка

Рисунок 17.5 – Муфельна штовхальна піч

Короби (піддони) із заготовками переміщуються періодично механічним штовхачем. Захисний газ подається з боку розвантажувального вікна. Робоча температура - 1000...1200⁰С.

У *печах з крокувальним подом* переміщення піддонів із заготовками здійснюється за допомогою важільного механізму, балки якого рухаються у щілинах поду. Піддони періодично підіймаються над нерухомим подом і переносять піддони на крок вперед. Тривалість циклу переміщення – 30...60 с. Робоча температура печі - 1200...1400⁰С.

Перевага печей з крокувальним подом – механізм переміщення знаходиться поза зоною нагрівання.

17.3 Полуменеві печі

Полуменеві печі з газовим нагріванням застосовують для спікання пресовок типу «залізо-графіт», «залізо-графіт-мідь».

Як правило, це печі неперервної дії конвеєрного або штовхального типу. Основу конструкції становить муфелі з алунду або жаростійкої сталі. Нагрівання здійснюється газовими пальниками, розташованими ззовні муфеля. Кількість пальників у різних зонах різна залежно від призначення зони.

Захисна атмосфера створюється при спалюванні природного газу, створюючи полум'я науглецьовувальне або нейтральне. Відпрацьований газ відводять під муфель і додатково спалюють, щоб сприяти рівномірності нагрівання. Склад атмосфери контролюється автоматично.

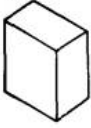
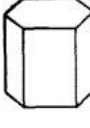








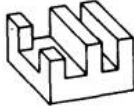


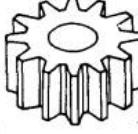

Поперечний переріз печі 3х3 м, довжина – 16 м, температура у зоні нагрівання – 700°C , у зоні спікання – 1200°C .

Література

Основна

1. Писаренко В.Г., Савуляк В.В., Боковий Є.Ф., Завадюк С.В. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку : навч. посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 242 с.
2. Геворкян Е.С., Семченко Г.Д., Тимофєєва Л.А, Нерубацький В.П. Нові матеріали та технології їх отримання: підручник. Харків: Діса плюс, 2015. 344 с.
3. Інженерне матеріалознавство: підручник / О.М. Дубовий та ін.– Миколаїв: НУК, 2009. – 444 с.
4. Нестеренко Т. М., Сколков В. О., Воденнікова О. С. Теорія і технологія порошкової металургії: навч. посібник. – Запоріжжя: ЗДА, 2016. – 120 с.
5. Сизоненко О. М., Івлєв А. І., Баглюк Г. А. Перспективні процеси виготовлення порошкових матеріалів: підручник : Миколаїв. НУК. 2014. – 374 с.
6. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. К.: Центр учбової літератури, 2017.336 с.
7. Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Волчок І.П., Шейко С.П. Спеціальні конструкційні матеріали: підручник. – Запоріжжя: «ВАЛПІС-ПОЛІГРАФ», 2010. 536 с.
8. Богуслаєв В.О., Качан О.Я., Калініна Н.Є., Мозговий В.Ф., Калінін В.Т. Авіаційно-космічні матеріали та технології.- Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор Січ», 2009. 383 с.
9. Коломієць С.М. Сучасні технології виробництва деталей машин. – Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка, вип. 158, с. 74-79.
10. Плєскач В.М., Акімов І.В., Мітєєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: Підручник / за заг. ред. доц. В.М.Плєскача. Запоріжжя: Просвіта, 2013. 372 с.
11. Корнілов О. Опір матеріалів. К.: Логос, 2002. 562 с.
12. 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.
13. ДСТУ ISO 3252:2014 Металургія порошкова. Словник термінів. [Чинний від 2015-01-01] К.: Мінекомрозвитку України, 2015. 59 с.

Додаток А
Групи складності порошкових виробів

I			
II-III			
IV-V			
VI			
VII			

Додаток Б
Властивості сталей для виготовлення деталей прес-форм

Марка сталі	Стан використання	Границя міцності на розтяг σ_B , МПа	Границя міцності на стиск $\sigma_{ст}$, МПа	Використання
9ХС	У стані постачання	790	3200	Матриці, пуансони, стрижні підвищеної зносостійкості
ХВГ	У гарячекатаному стані	760	2900	Матриці, пуансони, стрижні для холодного пресування
5ХНМ	Гартування + відпускання 550 ⁰ С	1350	3500	Матриці, пуансони, стрижні помірної теплостійкості
7ХЗ	Гартування + відпускання 500 ⁰ С	1320	3000	Теплостійкі матриці, пуансони при високих навантаженнях
Х12	Гартування + відпускання 500 ⁰ С	1850	4100	Матриці, пуансони, стрижні великого навантаження
Х12Ф1	Гартування + відпускання 500 ⁰ С	2200	4200	Матриці, пуансони, стрижні великого навантаження стійкі проти зношування
3Х2В8Ф	Гартування + відпускання 600 ⁰ С	1720	3900	Матриці, пуансони, стрижні великого навантаження стійкі проти зношування