

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повна найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»

(повна найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему: Обґрунтування технології виготовлення фільтру, що експлуатується в агресивному середовищі методом порошкової металургії

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФз-211сп
Спеціальності 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ДАМАСКІНА А.А.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ДЖУГАН О.А.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
Кафедра Фізичне матеріалознавство
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Фізичне матеріалознавство»

Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

« _____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
ДАМАСКІНА Альона Анатоліївна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Обґрунтування технології виготовлення фільтру, що експлуатується в агресивному середовищі методом порошкової металургії

керівник проєкту (роботи) ст.викладач ДЖУГАН Олександр Андрійович,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20 ____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Зразки із титанових порошкових матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу

2. Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення.

3. Характеристика матеріалів виробів.

4. Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів

5. Методики проведення досліджень

6. Спеціальна частина.

7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) 6 слайдів: Переваги та недоліки порошкової металургії; Найпростіша конструкція прес-форми та залежність густини пресовок від тиску пресування; Морфологія зламу спеченого зразка на основі порошку титану з покриттями та теплофізичні властивості матеріалів, що

розпилюються; Морфологія поверхонь; Дослідження проникності та розміру пор

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	ДЖУГАН О.А., ст. викладач		
7	НЕСТЕОРОВ О.В., к.т.н., доцент		
н/к			

7. Дата видачі завдання «_____» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу	12 квітня	
2	Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення	21 квітня	
3	Характеристика матеріалів виробів	26 квітня	
4	Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів	19 травня	
5	Методики проведення досліджень	20 травня	
6	Спеціальна частина.	30 травня	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	08 червня	

Студент(ка) _____

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Альона ДАМАСКІНА

Керівник проєкту (роботи) _____

Олександр ДЖУГАН

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи: 85 с., 2 табл., 15 рис., 1 дод., 14 джерел.

ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ; АГРЕСИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ; ХІМІЧНА СТІЙКІСТЬ; КОРОЗІЙНА ТРИВКІСТЬ; ВИСОКОПОРИСТИЙ МАТЕРІАЛ; ФІЛЬТРУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ; ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС; ПРЕСУВАННЯ; СПІКАННЯ; МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Об'єкт розробки – фільтр, що експлуатується в агресивному середовищі, виготовлений методом порошкової металургії.

Мета роботи – Мета дипломної роботи полягає в обґрунтуванні технології виготовлення фільтру, призначеного для експлуатації в агресивних середовищах, з використанням методів порошкової металургії для досягнення високого рівня корозійної стійкості та необхідного ступеня пористості при збереженні міцнісних характеристик виробу.

Дослідження охоплюватиме оптимізацію складу порошкової суміші шляхом введення легувальних елементів для підвищення опору корозії, а також підбір режимів компактування й спікання з метою забезпечення заданої пористості при достатній щільності та міцності фільтрувального елементу.

Важливим аспектом роботи стане вивчення впливу дисперсності та гранулометричного складу порошків на процеси формування фільтру з прогнозованими експлуатаційними властивостями в агресивних середовищах.

ЗМІСТ

С.

Вступ

1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів.

1.1 Порошкова металургія: переваги та недоліки.....

1.2 Фільтри, особливості використання.....

2 Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення.....

2.1 Формування та спікання заготовок з металічних порошків....

2.1.1 Формування.....

2.1.2 Процеси, що відбуваються при пресуванні.....

2.1.3 Основні схеми пресування порошкових виробів.....

2.2 Спікання пресовок.....

2.2.1 Практика спікання.....

3 Характеристика матеріалів виробів.....

3.1 Пористі проникні матеріали.....

3.2 Титан. Порошкові сплави на основі титану.....

4 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів.....

4.1 Характерні дефекти пресованих заготовок та їхні причини...

4.2 Характерні дефекти при спіканні.....

5 Методики проведення досліджень.....

5.1 Механічні властивості.....

5.2 Фізичні властивості.....

5.3 Особливості металографічних досліджень.....

5.4 Технологічні проби та випробування порошкових матеріалів..

6	Спеціальна частина. Виготовлення фільтрів з пористих порошкових матеріалів для використання в агресивних середовищах.....
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....
7.1	Аналіз потенційних небезпек.....
7.2	Заходи щодо забезпечення безпеки.....
7.3	Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці.....
7.4	Заходи з пожежної безпеки.....
7.5	Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....
	Висновки.....
	Перелік джерел посилань.....
	Додаток А

ВСТУП

Застосування фільтрів в агресивних середовищах є надзвичайно актуальною задачею для багатьох галузей промисловості, зокрема хімічної, нафтопереробної, гірничодобувної тощо. Екстремальні умови експлуатації, такі як високі температури, наявність корозійно-активних речовин, абразивне зношування, вимагають від фільтрувальних елементів поєднання високої пористості та проникності з підвищеною міцністю та стійкістю до руйнування. Традиційні методи виготовлення фільтрів часто не дозволяють досягти оптимального балансу цих властивостей.

У цьому контексті порошкова металургія постає як перспективна альтернатива, здатна подолати обмеження звичайних технологій та забезпечити формування фільтрувальних структур із цільовим комплексом характеристик. Виготовлення фільтрів методом порошкової металургії передбачає ретельний вибір вихідної сировини, композиційного складу, режимів формування та спікання порошкових заготовок. Варіюючи ці параметри, можна керувати пористістю, розподілом пор за розмірами, механічними властивостями та стійкістю до агресивних середовищ.

Важливим аспектом є можливість використання в технологічному циклі широкого спектру порошків на основі залізвуглецевих, нікелевих, хромонікелевих, алюмінієвих та інших складів. Введення легувальних елементів (хрому, нікелю, алюмінію тощо) сприяє формуванню бажаної структури та фазового складу, забезпечуючи підвищення корозійної стійкості, жароміцності, зносостійкості виробів. Це відкриває додаткові можливості щодо оптимізації властивостей фільтру під вимоги конкретного середовища його експлуатації.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

1.1 Порошкова металургія: переваги та недоліки

Порошкова металургія (ПМ) належить до категорії новітніх промислових галузей у новітніх промислових галузях у сфері отримання та обробки металів. Технологію порошкової металургії, що має багато спільного з процесами керамічного виробництва, в побуті часто називають металокерамічною, а її продукти – металокерамікою [1].

Метод ПМ, за допомогою якого виробляють матеріали і готові вироби з порошків чистих металів або їхніх багатокомпонентних сполучень, зокрема з неметалевими складовими, має безліч переваг, найважливішими з яких вважаються:

- економія ресурсів (коефіцієнт утворення відходів наближається до нульового показника за рахунок вкрай обмеженої необхідності в додатковій обробці);

- можливість отримання продукції з набором заданих унікальних фізико-хімічних і експлуатаційних параметрів, яку не можна виготовити іншими способами;

- доцільність під час випуску масовими партіями виробів і матеріалів порівняно з використанням традиційних обробних технологій (обробка методами різання, штампування, кування, лиття тощо) з огляду на відносної простоти технологічного циклу і, як наслідок, значно меншої собівартості.

До інших суттєвих переваг виготовлення продукції за методом порошкової металургії можна віднести:

- успішне вирішення цілої низки серйозних проблем, які виникають при використанні в промислових цілях тугоплавких металевих порошків з температурою плавлення від 1500 °C і вище, включно з пористими і

фільтрувальні матеріали, комбіновані продукти зі складових з різною температурою плавлення, а також різною температурою плавлення (бронзи і вольфраму, заліза і графіту та ін.);

- можливість виготовляти вироби з порошкових інгредієнтів високої чистоти, оскільки, на відміну, наприклад, від ливарного виробництва, в цьому випадку практично виключені будь-які забруднення перероблюваного матеріалу сторонніми домішками;

- можливість виготовляти деталі складних геометричних обрисів;

- відсутність необхідності використання високооплачуваного кваліфікованого персоналу через простоту технології ПМ;

- можливість провести автоматизацію на різних етапах технологічного процесу без розроблення складних орієнтувально-транспортувальних агрегатів, бункерів та інших технічних пристроїв, необхідних при штучному випуску виробів.

Проте, притаманні методу порошкової металургії і свої недоліки, до яких, зокрема, зараховують:

- складність техпроцесу отримання металевих порошків і, як наслідок, їх високу собівартість;

- необхідність, у багатьох випадках, проводити спікання сформованих порошкових заготовок у тому чи іншому відновлювально-захисному середовищі, що також підвищує рівень кінцевої собівартості металокерамічної продукції;

- виникнення технологічних проблем при компактуванні;

- необхідність застосування чистих вихідних порошків з метою отримувати чисті метали і сплави;

- складнощі під час випуску виробів, що мають значні габаритні параметри і криволінійну конфігурацію.

До недоліків порошкової металокераміки відносять також обумовлену певними специфічними особливостями формування залишкову пористість, від ступеня якої залежить міцність одержуваних продуктів (рис.1). Нерідко цей

фактор перешкоджає досягненню тих самих функціонально-експлуатаційних параметрів, що при використанні методів лиття або кування [1].

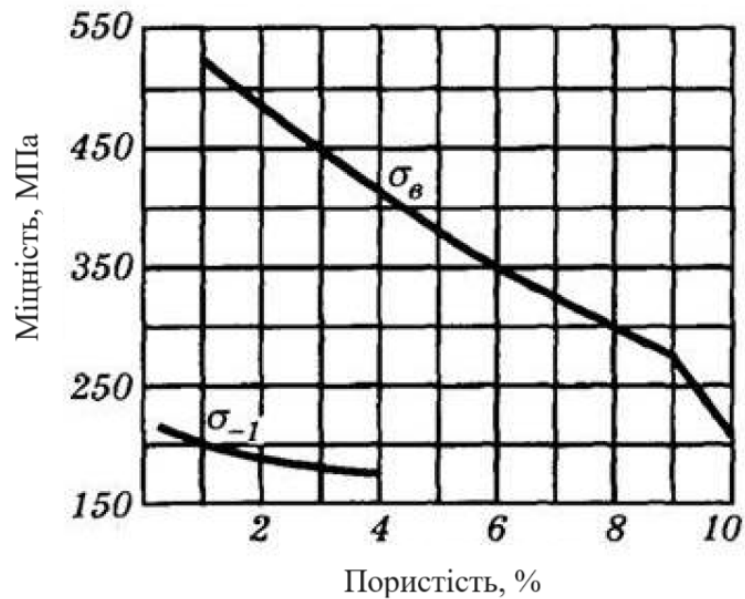


Рисунок 1.1 – Вплив ступеня пористості на показники міцності [1]

Втім, не варто розглядати позитивні та негативні аспекти порошкової металургії як постійні й незмінні. Їх характер значною мірою залежить від поточного стану розвитку самого технологічного процесу порошкової металургії, а також від інновацій у інших виробничих галузях.

1.2 Фільтри, особливості використання

Фільтри є дуже важливою частиною будь-якого технологічного процесу. Фільтраційні системи використовують у широкому спектрі систем та у будь-якій промисловості, наприклад у харчовій, хімічній, машинобудуванні, агропромисловості та ін. У якості речовини, що необхідно фільтрувати можуть бути як рідина, так і газ. Відфільтровані рідини та вловлені складові можуть значно підвищити якість даного продукту або зробити виробництво більш

ефективним. Значним плюсом є і зниження витрат на придбання та ліквідацію міжпродуктів і води, зниження витрат енергії та значний захист навколишнього середовища. Фільтри можуть виготовляти із нетканого матеріалу, різноманітних пластиків, синтетичних тканин, металевих сіток, порошків та ін. Використання пористих фільтрів, виконаних із порошкових матеріалів досить широко розповсюджено у багатьох виробництвах [2].

Багато галузей промисловості потребують того чи іншого типу пористих виробів, об'єм пор яких може варіюватися в широкому діапазоні. Фільтри, наприклад, необхідні в медицині, під час очищення води, уловлювання пилу, у вимірювальній техніці тощо. Розвиток атомної енергетики та ракетної техніки вимагав створення пористих матеріалів для тонкого очищення рідкометалевих і газоподібних теплоносіїв, порохових газів, мастил гідросистем високого тиску, для іонізації металевих парів у ракетних двигунах іонного типу тощо. Але, наділяючи порошковий матеріал потрібними експлуатаційними властивостями, пористість водночас зменшує його міцність, що змушує шукати технологічні прийоми, які покращують розвиток міжчастинкових зв'язків під час формування і спікання виробів. Тому, доцільним є розглянути один з найрозповсюдженіших матеріалів для виготовлення фільтрів – пористі матеріали [1].

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ І МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

2.1 Формування та спікання заготовок з металічних порошків

2.1.1 Формування

Формування складається з підготовки порошків до пресування, процесу пресування, випресовування заготовок, контролю якості пресовок.

Підготовка порошків до пресування складається з очищення, термічної або механічної обробки, розсіву на фракції за величиною частинок, змішування, іноді грануляції.

Очищення порошків необхідне внаслідок забруднення їх оксидами, продуктами зносу матеріалу млинів і дроблячих тіл. Очищення здійснюється хімічними, гідромеханічними або магнітними методами.

Термічна обробка - відпал - проводиться для зняття наклепу (зниження твердості), рафінування хімічного складу в результаті видалення вуглецю та інших домішок, зменшення окисленості. Результатом відпалу нерідко буває укрупнення частинок.

Якщо необхідно зняти наклеп, то відпал проводять при температурі $\sim 0,4$ від абсолютної температури плавлення металу порошку, тобто вище за температуру рекристалізації.

Обов'язковим під час відпалу є застосування захисної або відновлювальної атмосфери.

Механічна обробка застосовується в тому разі, коли потрібно додатково подрібнити порошок. Для цього зазвичай використовують кульові або молоткові млини.

Розсів порошків (класифікація) проводиться для отримання порошків із частинками певного розміру (фракцій), які надходять на наступну операцію - змішування. Після розсіву відбирають тільки потрібні для даного

технологічного процесу фракції. Класифікація порошків із крупністю вище 40 ... 50 мкм проводиться за допомогою сит, а більш тонких - методом повітряної сепарації.

Змішування. Головним завданням змішування є отримання однорідної за хімічним складом шихти. Однорідність шихти залежить від способу змішування, тривалості, гранулометричного складу і густини порошків. Розрізняють сухе (механічне) і мокре (хімічне) змішування.

Сухе змішування проводять у кульових млинах, конусних або вібраційних змішувачах, мокре – у спирті, бензині або дистильованій воді. Мокре змішування має низку переваг перед сухим: виходить більш однорідна суміш; відбувається більш інтенсивніше перемішування; відсутнє розпорошення дрібних частинок повсім об'ємом змішувача і запилення повітря в цеху.

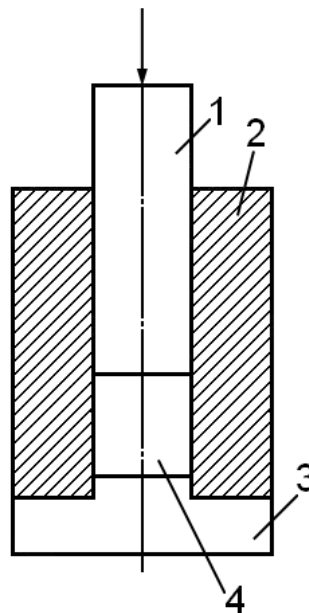
У деяких випадках при змішуванні для поліпшення плинності порошків проводять їх грануляцію (укрупнення). Для полегшення пресування порошків, що важко пресуються, при змішуванні (або грануляції) вводять спеціальні склеювальні або пластифікуючі речовини. Крім того, в шихту можуть вводитися добавки для поліпшення процесів спікання або забезпечення певної пористості виробів.

Контроль якості змішування здійснюється шляхом вивчення технологічних властивостей шихти і фізико-механічних властивостей спечених тіл або хімічним аналізом проб.

Дозування шихти здійснюється ваговим або об'ємним способами. При автоматичному пресуванні застосовують об'ємне дозування, яке поступає за точністю ваговому, однак при використанні шихти з постійною насипною густиною дає хороші результати. Вагове дозування застосовується при дрібносерійному виробництві, коли вироб повинні бути точними за масою або коли до складу шихти входять дорогоцінні метали (золото, платина, срібло тощо) [1, 3].

2.1.2 Процеси, що відбуваються при пресуванні

Призначення пресування – формування з порошкової шихти напівфабрикатів певної форми, розмірів і міцності. Найпростіша конструкція прес-форми (рис. 2.1) складається з матриці, верхнього і нижнього пуансонів, між якими засипається порошок, що пресується.



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

Рисунок 2.1 – Найпростіша конструкція прес-форми [6]

Зусилля пресування прикладається до верхнього пуансона. У цьому випадку ми проводять одностороннє пресування.

Пресування порошкового тіла (об'єму порошку) відрізняється від пресування компактного (литого) металу істотним зменшенням початкового об'єму і підвищенням щільності.

Зміна об'єму порошкового тіла під час пресування відбувається в результаті процесів ущільнення - консолідації (під консолідацією розуміється зростання контактного перерізу).

Щільність пресовок залежить від тиску пресування, вплив якого можна умовно розділити на три етапи (рис. 2.2). Засипаний у прес-форму порошок до докладання зусилля має густину, що відповідає насипній густині.

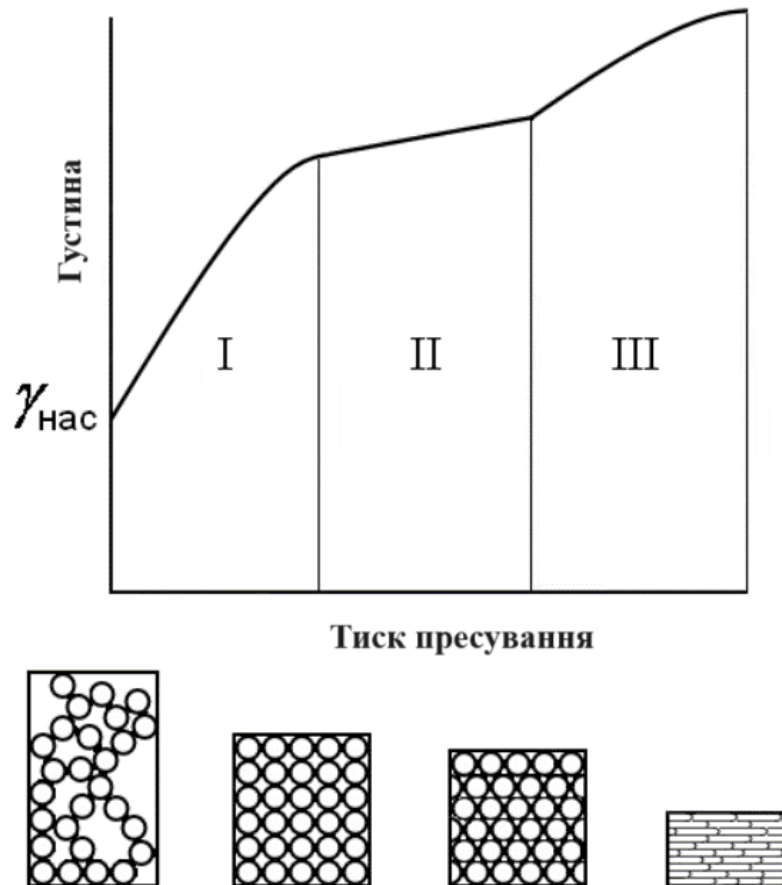


Рисунок 2.2 – Залежність густини пресовок від тиску пресування [6]

На першому етапі навіть найменше підвищення тиску викликає значне збільшення щільності пресування за рахунок зменшення пустот і більш щільного розташування частинок. Загалом перший етап характеризується «вільним» переміщенням частинок.

На другому етапі щільно упаковані частинки чинять певний опір стисненню. По мірі підвищення тиску відбувається згладжування поверхні частинок за рахунок тертя одна об одну, здирання оксидних плівок, зростання контактного перерізу. З'являються сили міжатоної взаємодії, і, як наслідок,

опір порошкоподібного тіла зовнішньому тиску збільшується, підвищення щільності пресовок загальмовується.

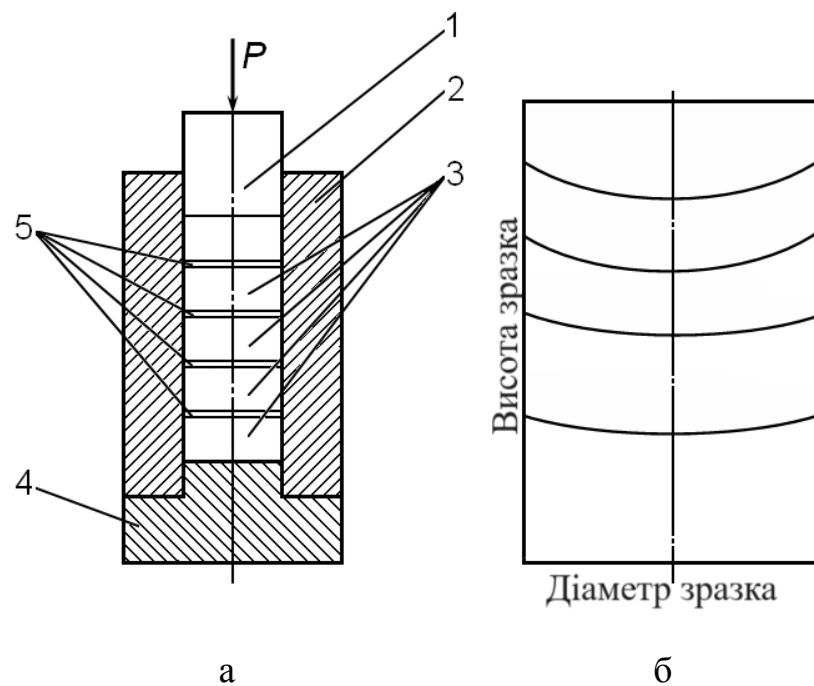
На третьому етапі тиск пресування перевищує опір частинок пружній деформації. Починається і протікає процес їх пластичного деформування. Метал тече, заповнюючи порожнечі, об'єм пресування зменшується. Під час пресування крихких матеріалів пластичної деформації не відбувається. Третій етап характеризується їхнім крихким руйнуванням, дробленням виступів на поверхні частинок і так само, як і для пластичних металів, ущільненням і зменшенням об'єму пресування.

Графік, наведений на рис. 2.2, представляє теоретичне описання процесів. Насправді має місце накладення зазначених стадій ущільнення. Так, деформація окремих частинок починається вже при невисоких навантаженнях. Цьому багато в чому сприяє друга особливість пресування порошкових тіл, що полягає в нерівномірному розподілі щільності пресовок за перерізом.

Розглянемо результати експерименту. У порожнину прес-форми було засипано п'ять однакових наважок порошку, які розділялися прокладками з алюмінієвої фольги (рис. 2.3а). Після пресування отриманий брикет витягли і розрізали вздовж по осі. За висотою зразків можна судити про їхню щільність (рис. 2.3б). Добре видно, що верхній шар, прилеглий до пуансона, має більшу щільність, ніж нижчі. Щільність пресовок за діаметром також неоднорідна. У верхніх шарах, що стикаються з торцем пуансона, щільність значно зростає від центру до периферії, а в нижній частині, навпаки, щільність по діаметру збільшується від країв пресування до центру [7].

У зв'язку з тим, що нерівномірність щільності брикету може істотно вплинути на розподіл щільності в спеченому виробі і, як наслідок, на зміну його механічних або фізичних властивостей, на спотворення форми і розмірів, розглянемо причини, що зумовлюють нерівномірний розподіл щільності за перерізом пресування.

Під час пресування порошків тіло виявляється всебічно стисненим. Зверху на нього тисне пуансон, знизу і з боків діє реакція прес-форми. Поведінку порошку з відомим наближенням можна порівняти з поведінкою рідини. Однак, на відміну від рідини, частинки порошку передають вироблений на них тиск нерівномірно. В результаті тиск на стінки прес-форми значно менший, ніж у напрямку пресування. Це пояснюється утрудненістю переміщення частинок через тертя між собою і заклинювання.



а - до пресування: 1 - верхній пуансон; 2 -матриця; 3 -порошок;
4 -нижній пуансон; 5 - прокладка з фольги;
б - спресований зразок

Рисунок 2.3 – Схема розподілу густини за перерізом брикету, спресованого способом одностороннього пресування [6]

Бічний тиск становить 25 ... 40 % від тиску пресування і може бути визначений зі співвідношення

$$P_r = \xi \cdot p,$$

2.1

де P_r – питомий бічний тиск;

p – питомий тиск пресування;

ξ – коефіцієнт бокового тиску.

Коефіцієнт бокового тиску залежить від фізичних характеристик порошку: пластичності, дисперсності та форми частинок. Бічний тиск змінюється по висоті пресованого брикету. Він знижується у зв'язку зі зменшенням осьового тиску в міру віддалення від пуансона.

Під час розгляду процесу пресування слід враховувати також вплив на щільність пресовок тертя порошку об стінки прес-форми. Щоб визначити втрати тиску пресування на тертя об стінки прес-форми, виведемо співвідношення між бічним тиском і загальним вертикальним тиском. Припустимо, що пресовка висотою h з відносною густиною θ (відносна густина - це відношення фактичної густини пресування до густини компактного матеріалу) перебуває в циліндричній прес-формі діаметром D за питомого тиску пресування p . Тоді загальний тиск, що чиниться на пресування, дорівнюватиме

$$P = \frac{\pi D^2}{4} p$$

2.2

Оскільки тиск на 1 см^2 бічної поверхні $P_r = \xi p$, а величина бічної поверхні дорівнює $\pi D h$, то сумарний тиск на неї становитиме

$$P_r = \xi \pi D h p = \xi \pi D h_k p$$

2.3

де h_k - наведена висота пресування (висота при $\theta = 100 \%$).

Отже, сумарний бічний тиск залежить тільки від величини вертикального питомого тиску, а всі інші величини постійні для даної наважки порошку. Таким

чином, змінними є тільки розміри брикету. Частка витрат тиску на тертя прямо пропорційна наведеній висоті брикету і обернено пропорційна його діаметру. Для даної навіски пресованого порошку і розмірів прес-форми частка вертикального тиску, що втрачається на тертя, є величина постійна, пропорційна прикладеному тиску. Втрати тиску на подолання сил тертя між частинками порошку і стінками прес-форми (зовнішнє тертя) можуть становити 60 ... 90 % від зусилля пресування [1,5,6,8].

Втрати зусилля пресування на подолання зовнішнього тертя залежать від коефіцієнта тертя в парі матеріал прес-форми – матеріал брикету, що пресується, висоти брикету, що пресується, діаметра прес-форми, наявності мастила. Коефіцієнт зовнішнього тертя істотно зменшується зі збільшенням тиску пресування. Наявність зовнішнього тертя, з яким пов'язана рівномірність щільності пресування по висоті, змушує обмежувати останню.

Під час пресування важливу роль відіграє і тертя між частинками порошку (внутрішнє тертя), яке зменшує зусилля пресування по осі пресування. Через внутрішнє тертя неможлива течія порошку під прямим кутом до напрямку пресування, наслідком чого є втрата щільності у відповідних зонах. Тому не можна пресувати вироби, профіль яких змінюється в напрямку пресування.

Процес пресування не закінчується одним лише деформуванням порошкового тіла. Потрібно провести ще випресування виробу. На перший погляд, для цього достатньо докласти зусилля, що дає змогу подолати сили тертя пресування об стінки прес-форми. Насправді, цього зусилля виявилось недостатньо. Вище вже зазначалося, що під час пресування порошкового тіла енергія тиску витрачається як на подолання зовнішнього і внутрішнього тертя, так і на пластичну і пружну деформацію. Пластична деформація призводить до ущільнення пресування, а пружна, накопичуючись, врівноважує зовнішній тиск пресування.

Після зняття зовнішнього тиску пружні сили, звільняючись, прагнуть збільшити об'єм спресованого виробу. Це можливо лише шляхом збільшення висоти пресування, збільшенню її по діаметру перешкоджають стінки прес-

форми. Пружні сили, складаючись із зусилля тертя, ускладнюють вилучення виробу. Зусилля виштовхування залежно від залежності від природи і властивостей порошкової шихти становлять 0,1 ... 0,35 від тиску пресування.

Збільшення розмірів спресованого виробу під дією внутрішніх напружень називається пружним. Внутрішніх напружень називається пружною післядією. Таким чином, зусилля, з яким проводиться випресування виробу, пов'язане з подоланням сил, зумовлених пружною післядією, і сил тертя пресування об стінки прес-форми.

Збільшення розмірів спостерігається і після випресування. Тому пружну післядію розглядають як комплекс явищ збільшення розмірів пресування відразу після зняття тиску пресування і після випресування [1-4].

Дуже часто пружна післядія супроводжується появою у виробках розшарувань і тріщин, тому важливо знати, які чинники впливають на її величину. Пружна післядія залежить від характеристик пресованого порошку (дисперсності, форми, стану поверхні частинок, вмісту оксидів, твердості матеріалу частинок), тиску пресування, мастила, пружних властивостей матриці та прес-форми. Фактори, що збільшують міцність пресовок (велика питома поверхня частинок, мала насипна густина, мінімальний вміст домішок, наявність мастила), зменшують, а протилежні (наприклад, висока твердість матеріалу частинок порошку) збільшують пружну післядію.

Відносна зміна лінійних розмірів пресування внаслідок пружної післядії може бути знайдена з виразу

$$\delta_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% = \frac{l_l - l_0}{l_0} \cdot 100\% , \quad 2.4$$

де δ_l – величина пружної післядії; Δl – абсолютне розширення пресування по довжині або діаметру; l_0 – довжина (діаметр) пресування, що перебуває в прес-формі під дією тиску пресування; l_l – довжина (діаметр) пресування, витягнутого з прес-форми.

Аналогічним чином можна знайти й об'ємну величину пружного впливу:

$$\delta_v = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100 = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100 (\%). \quad 2.5$$

Ефект пружної післядії по висоті пресування більший, ніж у поперечному напрямку і становить 5 ... 6 % (проти 3 %). Це пов'язано з більшою величиною осевого зусилля порівняно з бічним тиском [9, 10].

Вище вже зазначалося, що втрата тиску пресування по висоті та діаметром пресування зумовлена внутрішнім і зовнішнім тертям. Оскільки втрати тиску пресування не тільки самі по собі великі, а й впливають на рівномірність розподілу щільності пресовок, виникає питання, чи не можна якось їх скоротити. Виявляється, можна, якщо до складу порошкової шихти ввести мастило. Усі мастила ділять на інертні та активні.

Інертні мастила дають змогу знижувати тертя між частинками і стінками матриці прес-форми, не впливаючи на властивості матеріалу порошку.

Активні мастила надають ще додатковий вплив на деформаційну міцність частинок порошку, сприяючи таким чином полегшенню взаємного переміщення частинок під час пресування, кращій їх ущільнюваності і, як наслідок, досягненню більш високої міцності при більш низьких зусиллях пресування. Позитивна дія активних мастил пояснюється тим, що вони абсорбуючись поверхнею частинок, проникають у пори, субмікроскопічні тріщини та інші дефекти, полегшуючи таким чином деформування поверхневих шарів порошку. Прикладом активного мастила є олеїнова кислота. Застосування мастил, особливо активних, істотно знижує міцність пресовок. Тому введення їх доцільно для пластичних матеріалів, пресування з порошків яких мають достатню міцність. Для пресування крихких і твердих матеріалів застосовують клейкі та пластифікуючі добавки - камфору, парафін, каучук, які полегшують ковзання і склеювання частинок порошку.

Міцність пресовок визначається двома основними факторами: механічним зачепленням частинок і дією міжатомних сил зчеплення.

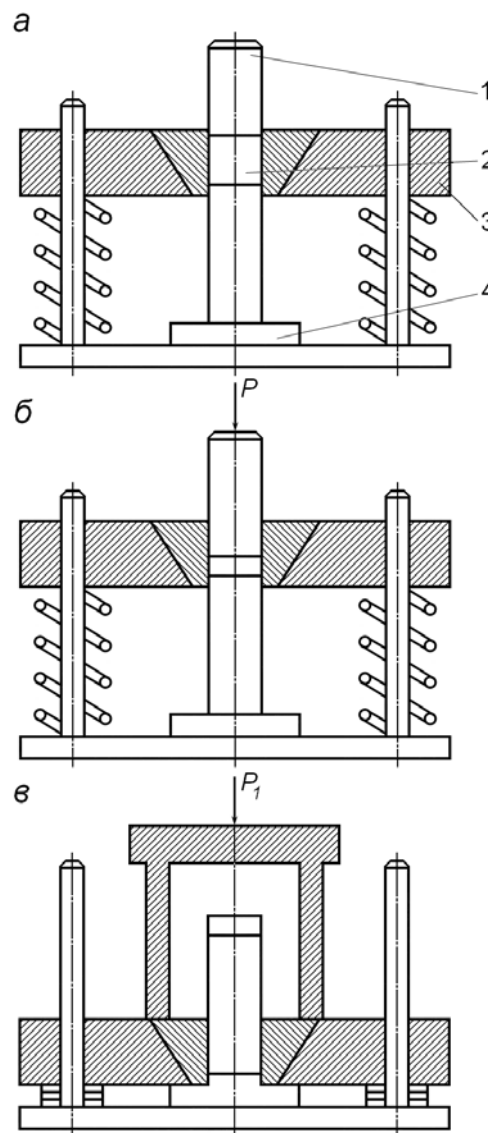
Відомо, що для литих металів міцність зазвичай збільшується зі збільшенням твердості, проте для порошкових пресовок спостерігається зворотна залежність. Міцність пресовок тим більша, чим м'якший матеріал порошку. Це пояснюється більш швидким заповненням контактних мікронерівностей у пластичних матеріалів, внаслідок чого безпосередній контакт вступає більша кількість атомів суміщених поверхонь. На міцність пресовок впливає і пружна післядія. Особливо помітний цей вплив у твердих матеріалів, оскільки в результаті пружної післядії контактна поверхня сильно зменшується, і міцність пресування, в основному, визначається силами механічного зачеплення. Механічне зачеплення проявляється в повнішню мірою в разі шорсткої поверхні частинок і, як зазначалося вище, пропорційне пластичності металу [8-10].

2.1.3 Основні схеми пресування порошкових виробів

Закономірності пресування необхідно розглянути на прикладі одностороннього пресування, за якого тиск на порошкову шихту здійснюється тільки з одного боку, що не дає змоги домогтися рівномірної щільності по всьому перетину пресування. Істотний вплив на розподіл щільності має відношення висоти пресованого виробу до площі поперечного перерізу пресованого виробу до площі поперечного перерізу. Чим більше це відношення, тим менш однорідною щільністю володіє пресування. Більш рівномірного розподілу щільності дає змогу досягти двостороннє пресування (рис. 2.3), однак і в цьому випадку в середині пресування утворюється зона зниженої щільності.

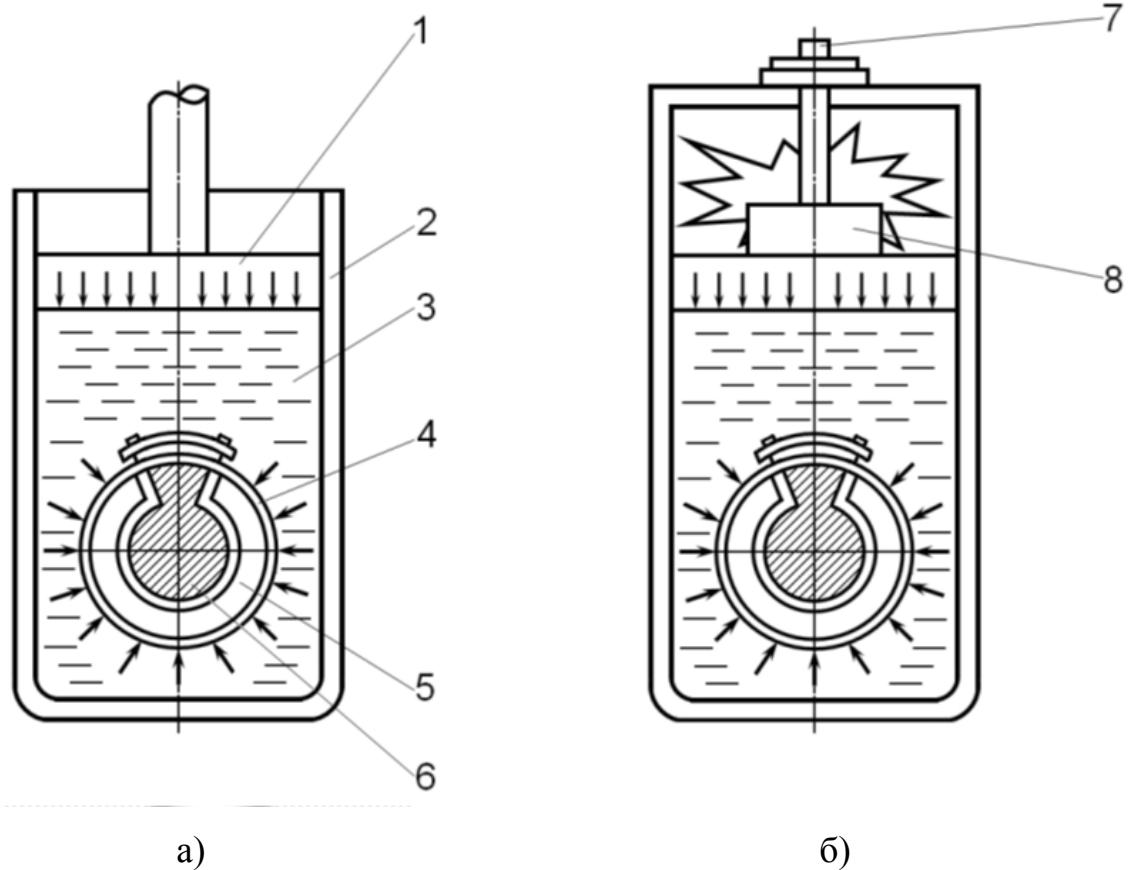
Заготовки з рівномірною щільністю можна отримувати, застосовуючи гідростатичне пресування (рис. 2.4 а), за якого порошкова шихта, засипана в еластичні (наприклад, гумові) оболонки, піддається всебічному обтисненню рідиною (водою, маслом, гліцерином) при тиску вище 100 ... 200 МПа. Різновидом цього методу є вибухове пресування (рис. 2.4 б). Спочатку методом гідростатичного пресування отримували заготовки тільки простої форми, але в даний час, завдяки застосуванню спеціального технологічного оснащення, виготовляють і складні вироби масою до 2000 кг.

Важлива перевага гідростатичного пресування – відсутність розшарування. Разом з тим, є й істотний недолік – важко витримати розміри пресування, близькі до заданих, унаслідок чого, як правило, доводиться застосовувати механічну обробку.



а - засипка порошку і встановлення пуансона: 1 - верхній пуансон; 2 - порошкова шихта; 3 - матриця; 4 - нижній пуансон; б – пресування порошку; в - виштовхування пресування; P - тиск пресування; P_1 - тиск випресування

Рисунок 2.4 – Схема двостороннього пресування [8]



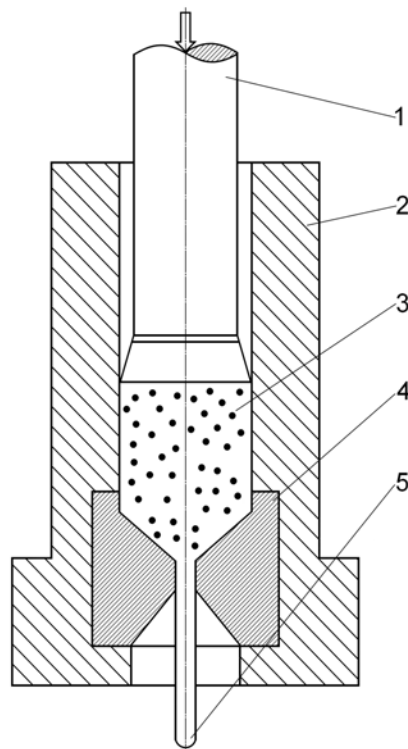
1 - пуансон; 2 - прес-камера; 3 - робоча рідина; 4 – гумова оболонка; 5 - деталь, що формується; 6 - сталевий сердечник; 7 - запал; 8 - заряд вибухової речовини

а) гідростатичне, б) вибухове

Рисунок 2.5 – Схеми пресування [8]

Розглянемо методи мундштучного пресування і прокатки, за яких безперервна подача порошків забезпечує високу продуктивність. При мундштучному пресуванні (екструзії) виріб отримують шляхом продавлювання порошкової маси, що містить близько 10 % пластифікатора (парафін, крохмаль, бакеліт), через спеціальний отвір – мундштук (рис. 2.6). Мундштучним пресуванням отримують вироби постійного перетину (квадрат, коло, овал, труби, куточки і будь-які складні профілі). Важливою перевагою методу є можливість отримання виробів великої довжини з рівномірною щільністю навіть

із матеріалів, що погано пресуються (тугоплавкі метали, інтерметалічні сполуки, тверді сплави, матеріали на основі оксидів).



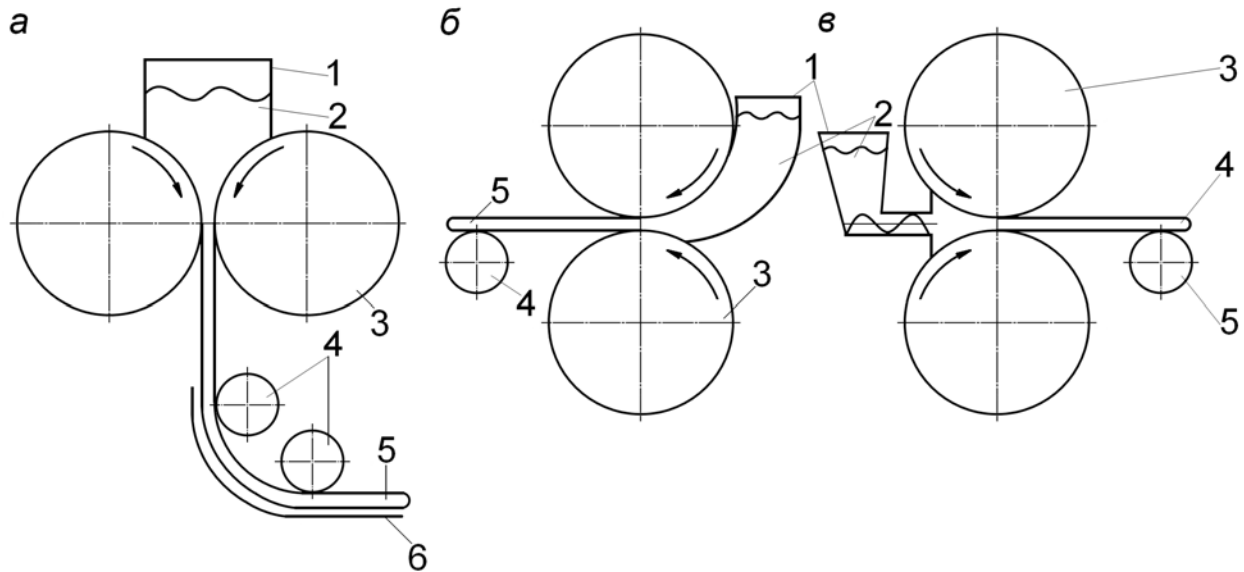
1 - пуансон; 2-сталевий стакан; 3 - порошкова шихта; 4 - конус (мундштук); 5 - спресована заготовка

Рисунок 2.6 – Схема мундштучного пресування [8]

Прокатка порошків - це процес отримання порошкових виробів у вигляді листів, стрічки, дроту, електродів, фільтрів. На рис. (1.8 а) показано схему прокатки у вертикальному напрямку, за якої створюються максимально сприятливі умови залучення порошку у вогнище деформації. Однак під час виходу з валків відбувається перегин отриманої стрічки на 90° , що неприпустимо під час прокатки крихких і високопористих матеріалів. У зазначених випадках застосовують прокатку порошків з похилою (2.7б) і горизонтальною (2.7в) подачею порошку.

Прокатка має низку переваг перед розглянутими раніше методами пресування:

- 1) можливість отримання виробів великої довжини з рівномірною щільністю;
- 2) можливість отримання виробів з великою площею;
- 3) можливість отримання низки властивостей, які не досягаються прокаткою компактного металу (наприклад, будь-яка задана пористість).



а - прокатка з вертикальною подачею порошку: 1 - бункер; 2 – порошок (шихта); 3 - валок; 4 - стрічка; 5 - ролик; 6 - напрямна; б - прокатка з похилою подачею; в - прокатка з горизонтальною подачею

Рисунок 2.7 – Схема прокатки металевих порошків у стрічку [8]

Прокатку порошків здійснюють як у холодному, так і гарячому стані. Після прокатки неодмінно слідує операція спікання. Для підвищення щільності та поліпшення механічних властивостей спечену стрічку піддають багаторазовій холодній прокатці з проміжними відпалами.

Після 3 - 4 прокаток механічні властивості стрічки підвищуються в кілька разів, а щільність досягає 100 %. Гаряча прокатка дає змогу отримувати матеріал із підвищеними механічними властивостями при меншій, ніж за холодної прокатки, кількості обтискань. Однак вона вимагає складнішого обладнання,

оскільки процес ведуть у контрольованій атмосфері для захисту порошку від окислення при високих температурах.

Існує ще низка способів отримання виробів із металевих порошків: кування і гаряча прокатка порошків в оболонках, динамічне і вібраційне формування, шлікерне лиття.

2.2 Спікання пресовок

Спікання пресовок полягає в нагріванні їх до певної температури і витримці. Якщо пресовку не піддати спіканню, вона може незабаром обсипатися або зруйнуватися за незначного зусилля. Отже, спікання - це операція, що дає змогу надати пресуванню механічні властивості готової деталі. Не тільки механічні, а й фізичні, оскільки в процесі спікання в порошковому тілі протікають істотні зміни. Так, контакт між частинками з оксидного перетворюється на металевий, відбувається об'єднання частинок, зміна розмірів і форми пор, зменшення загальної пористості, усадка. Усі процеси формують властивості готового виробу.

Залежно від агрегатного стану металу порошку розрізняють два види спікання: у твердому стані, коли температура процесу недостатня для розплавлення легкоплавкого металу, і спікання з участю рідкої фази, коли відбувається часткове розплавлення одного з компонентів шихти або евтектики, що утворилася при спіканні.

Спікання у твердому стані. Це спосіб спікання, який зустрічається найчастіше. Розглянемо послідовність процесів спікання в твердому стані.

У процесі нагрівання пресовок до температури спікання спочатку в них відбувається вигорання мастила або склеювальних добавок. Частинки, що складають порошкове тіло (порошинки), при цьому утримують можливість

займати місця, що звільнилися після вигорання мастила. Вони починають ковзати одна щодо одної, прагнучи до більш щільного розташування.

Підвищення температури викликає збільшення амплітуди коливання атомів у кристалічній решітці металу. Однак за однієї й тієї самої температури не всі атоми частинки порошку мають однакову рухливість. Найбільш рухливі атоми, розташовані на поверхні частинок, і особливо на їхніх виступах. Саме тому атоми з виступів частинок, покинувши свої місця, прагнуть зайняти більш стійкі положення у западинах. Перенесення цих атомів здійснюється через газову фазу. Таким шляхом відбувається розчинення виступів і заліковування западин. В результаті частинки набувають дедалі більш гладкої поверхні, а це сприяє подальшому їхньому руху, що помітно досліднику у вигляді усадки.

Частинки порошку прагнуть зайняти таке положення одна щодо одної відносно одна одної, яке б відповідало мінімальній вільній енергії. Саме вільна енергія, пропорційна сумарній поверхні порошків, прагне стиснути пресовку, щоб зменшити її вільну поверхню. Так пояснюють мимовільну усадку на початку спікання. Нарешті, ковзання порошків одна щодо одної закінчується. Попередній етап згладжування частинок підготував підґрунтя для утворення щільних контактів. Крім того, були зняті внутрішні напруження.

Наступний етап – створення контактних містків і розеток, за якого утворюється порівняно жорсткий порошковий скелет [9-11].

Розглянемо три основні випадки утворення контактів між частинками:

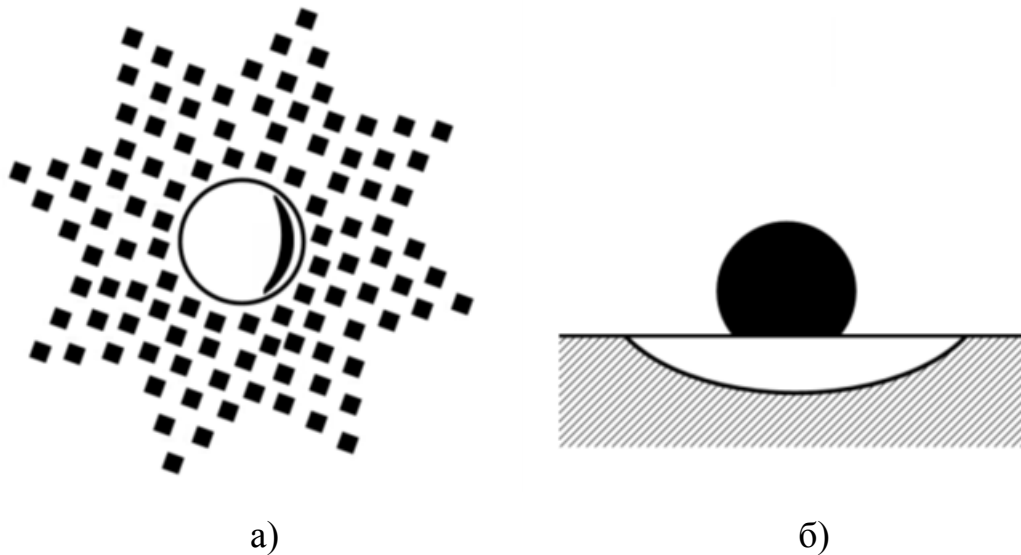
- 1) речовини частинок однорідні;
- 2) речовини частинок взаємно нерозчинні;
- 3) речовини частинок необмежено розчинні одна в одній.

Утворення контакту між однорідними частинками. Перші контакти, що утворилися під час пресування, бувають переважно контактами через оксиди. Лише в небагатьох точках відбувається зіткнення металів. У процесі спікання плівки оксидів починають відновлюватися. У їхньому об'ємі формується

структура, багата набезліччю вакансій, раніше зайнятих атомами кисню. Тому атомиметалу в дефектній структурі мають підвищену дифузійну рухливість і, швидко переміщаючись, накопичуються поблизу тих небагатьохчастинок, у яких із самого початку контакт був металевим. Таким шляхомрозширюється область металевого контакту. Одночасно відбуваєтьсяруйнування оксидних контактів. Область металевого контактуперетворюється на так званий «місток», що з'єднує порошинки.

Механізм утворення контактів через «містки» здійснюєтьсяпрактично завжди, коли спіканню піддаються окислені порошки.Розглянемо, як відбувається утворення контакту, якщо поверхняпорошку не окислена зовсім або окислена дуже мало. У цьому випадкуплоща металевого контакту може бути значною.

У зоні контакту не може бути точної відповідності міжрешітками кристалів, оскільки частинки орієнтовані довільно. Навітьякщо зіткнення відбувалося б по ідентичних і ідентично орієнтованих поверхнях, відповідності не було б черезнеминучий взаємний зсув на частки міжатомної відстані. Разомз тим, у процесі спікання частинки прагнуть зростися. Але для цього необхідно, щоб з'явилися зв'язки в місці контакту між найближчимиатомами-сусідами, що належать двом різним частинкам. Атомипочинають підлаштовуватися один до одного, відбувається їх зміщення навідстані, що не перевищують міжатомні. Але навіть таке незначнепереміщення викликає напруження в кристалічній решітці. Цінапруження сприяють виникненню дислокацій у кристалічнійрешітці частинки порошку.Характер розташування дислокацій у зоніконтакту залежить від типу кристалічної решітки металу і виявляється у вигляді розетки спікання (рис. 2.8).



а - вихід дислокацій на поверхню;

б - зона, багата дислокаціями (світле поле під часткою)

Рисунок 2.8 – Дислокаційна розетка спікання (випадок припікання сферичної частинки до плоскої поверхні) [11]

Чим більша величина напружень у місці контакту і чим більша його площа, тим довші промені розетки спікання. Відомо, що в дефектних, спотворених структурах дифузійні процеси відбуваються легше і швидше, ніж у бездефектних. Тому в дефектні області спрямовуються атоми частинок, що спікаються, що сприяє збільшенню контактів і вкінцевому підсумку - злиттю частинок в єдину.

Утворення контакту між взаємно нерозчинними речовинами. Як і в попередньому випадку, у місці контакту будуть відбуватися процеси, які призводять до найбільш швидко досяжного і найбільшого за величиною зниження вільної енергії системи.

Оскільки речовини взаємно нерозчинні одна в одній, то під час контакту порошкових частинок спрямованого руху атомів не відбувається. Отже, зниження вільної енергії може відбутися тільки за рахунок зменшення поверхневої енергії системи. Якщо частинки однієї речовини зливаються

воедино, то у випадку різних взаємнорозчинних речовин цього статися не може.

Розглянемо конкретні випадки розвитку контакту між речовинами А і В залежно від того, як співвідносяться поверхнева енергія α_{AB} на межі А-В та енергії α_A і α_B на поверхні частинок А і В.

Якщо $\alpha_{AB} > \alpha_A + \alpha_B$, то під час зіткнення частинок площа контакту збільшуватися не буде, оскільки збільшення поверхневого контакту веде до збільшення поверхневої енергії системи.

Якщо $\alpha_{AB} < \alpha_A + \alpha_B$, то збільшення площі контакту призведе до зниження поверхневої енергії системи, однак успіх розвитку контакту залежить від конкретного співвідношення поверхневих енергій α_A і α_B .

Якщо $\alpha_{AB} < \alpha_A - \alpha_B$, то виникає найбільш сприятлива ситуація для розвитку контакту. У цьому випадку речовині крупинки В просто вигідно «намазуватися» на поверхню крупинки А. Щоб відбулося «намазування», за якого замість поверхні типу А з'явилися дві поверхні - типу А В і типу В, необхідно щоб $\alpha_{AB} + \alpha_B$ було меншим, ніж α_A , а це означає виконання наведеної вище нерівності. У результаті утворюється двошарова сфера, що складається з ядра речовини А і покриття речовини В.

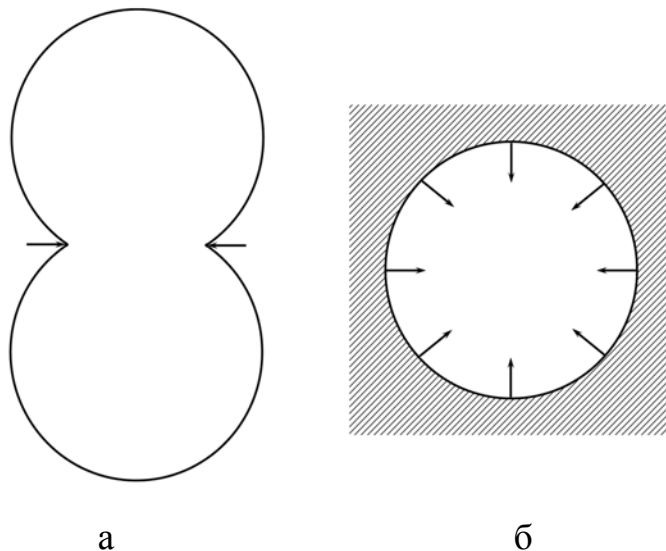
Після цього здійснюється контакт укрупнених частинок, поверхні яких представляють речовину В. Спікання цих частинок відбувається за принципом утворення контакту між однорідними речовинами.

Утворення контакту між необмежено розчинними речовинами. У місці контакту виникають дифузійні потоки атомів спечених речовин А і В, що відрізняються швидкістю дифузії. У зв'язку з цим із решітки однієї частинки (наприклад, частинки А) піде атомів більше, ніж у неї прийде. Наслідком буде поява вакансій, які, об'єднавшись, утворюють пори в крупинці А. Крім безпосередньої дифузії атомів через контакт, відбувається ще й перенесення через газову фазу атомів, які, осідаючи на контактуючій частинці, потім дифузійно проникають у її об'єм.

Усі описані механізми призводять до розбухання однієї частинки за рахунок іншої.

Ущільнення за рахунок дифузійного повзучості. Перші два етапи спікання забезпечили певний ступінь ущільнення. Виникли і розвинулися міцні контакти, створився жорсткий скелет пресування. Однак процес спікання не завершено. Триває поверхнева міграція атомів, сфероїдизація пор. На перший погляд здається, що настала рівновага. Насправді це далеко не так. Практика свідчить про те, що в цих умовах відбувається усадка пресовок. Усадку на цьому новому етапі зумовлюють сили в пористому тілі, що складається з безлічі спресованих порошків, існує два типи поверхонь: 1) так звані вільні поверхні пор; 2) не вільні, або контактні, поверхні, уздовж яких стикаються частинки.

Поверхні першого типу в процесі спікання прагнуть до скорочення. Цьому сприяють сили надлишкового капілярного тиску, які виникають на увігнутих і опуклих поверхнях (рис.2.9) і викликають дифузійну повзучість. Дифузійна повзучість полягає в спрямованому переміщенні вакансій від поверхні, де прикладено тиск, до вільної поверхні (зовнішні межі пресування, межі блоків і зерен). Такий спрямований рух вакансій зумовлює затікання пор і усадку пресування.



а – стик частинок; б – ізолювана пора

Рисунок 2.9 – Дія капілярних сил під час спікання [12]

Поверхні другого роду можуть мати певний вплив на дифузійну повзучість у зв'язку з викладеними вище процесами появи і розвитку розеток спікання.

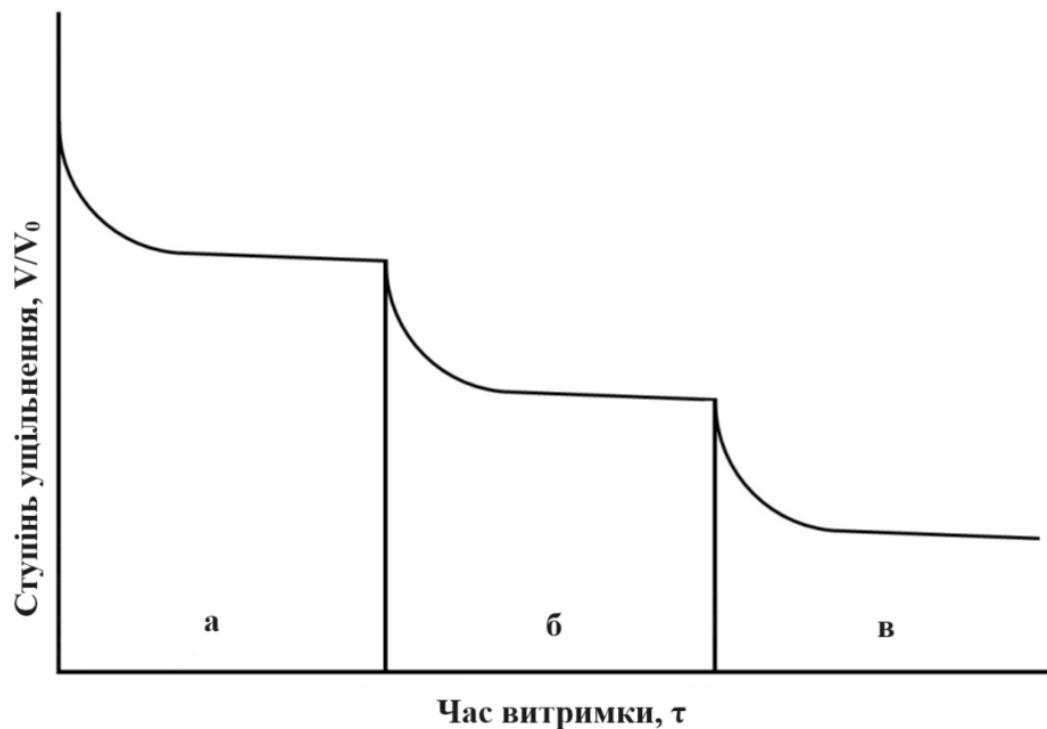
Повзучість не може розвиватися з постійною швидкістю. Швидкість повзучості внаслідок зниження числа недосконалостей кристалічної ґратки зменшується. Відповідно до цього знижується і швидкість процесу усадки.

Хід ущільнення на трьох розглянутих етапах спікання зображено у вигляді графіка рис. 2.10. Ступінь ущільнення, що представляє відношення обсягу пресування в будь-який час $\tau(V)$ до початкового об'єму (V_0), змінюється заступінчастим законом. У перший час (відрізок а) ущільнення йде при підвищенні температури за рахунок вигорання мастила; потім (відрізок в) за рахунок згладжування виступів і, нарешті, (відрізок с) за рахунок дифузійної повзучості.

Вплив рекристалізації на спікання. На дифузійні процеси накладається процес рекристалізації, справляючи істотний вплив на механізм спікання. З підвищенням температури спікання всередині кожної металеві частинки порошку починається збиральна рекристалізація, що полягає в пересуванні меж зерен з однієї частинки в іншу одночасно зі зростанням контакту між частинками. Таким чином, відбувається укрупнення зерен (частинок).

Процесу збиральної рекристалізації перешкоджають пори, газові та окисні плівки на поверхні частинок. Усе це сприяє отриманню дрібнозернистої структури в спечених виробках. На процес збиральної рекристалізації впливає розмір частинок порошку. Спостерігається така закономірність: чим більші частинки порошку, тим більші пори і тим слабкіше проявляється збиральна рекристалізація. Наприклад, під час спікання брикетів із дрібного залізного порошку контури частинок зникають при температурі 800 °С, а в брикетах з

великих залізних порошків контури окремих частинок зберігаються навіть при температурі 1200 °С.



а - вогоряння мастила; б - ущільнення за рахунок згладжування поверхні;
в - ущільнення за рахунок дифузійного повзучості

Рисунок 2.10 – Усадка при спіканні зі ступінчастим підвищенням температури [13]

Початковий етап рекристалізації спостерігається за температури (0,4... 0,5) $T_{пл}$ і розвивається завдяки поверхневій дифузії, аінтенсивний розвиток цього процесу починається при температурі вище(0,7 ... 0,8) $T_{пл}$.

На відміну від компактних металів, у порошкових матеріалах дужеважко встановити температуру початку і кінця росту зерен. Це пов'язано зтим, що під час пресування, незалежно від тиску, значногоподрібнення частинок порошку не відбувається, особливо для порошківпластичних металів. Крім того, різні частинки порошкудеформуються неоднаково і отримують різний ступінь наклепу і,отже, різну температуру рекристалізації.

Спінання за участю рідкої фази. Спінання за участю рідкої фази в практиці порошкової металургії зустрічається досить часто. В цьому випадку мають справу з фактом часткового (не більше 50 %) розплавлення одного з компонентів. Повного розплавлення легкоплавкого компонента не допускають, щоб пресування не втратило свою форму.

Відомі дві причини утворення рідкої фази: 1) поява рідини в зоні контакту двох металів, що утворюють один з одним евтектику; 2) розплавлення металу внаслідок досягнення температури його плавлення.

В обох випадках рідина розтікатиметься по поверхні частинок порошку, утворюючи рідку плівку. Під впливом зусиль, зумовлених наявністю рідкої плівки, частинки порошку в пресуванні, прагнуть максимально ущільнитися, будуть ковзати одна щодо одної. Це здійснюється швидше і простіше, ніж при спінанні в твердому стані, оскільки рідка фаза, маючи малу в'язкість, відіграє роль невідгоряючого мастила, що полегшує ковзання. Процес може відбуватися за будь-якої мінімальної температури, достатньої для того, щоб прошарок не кристалізувався.

Перегрупування порошинок веде до зменшення пористості. Помітна усадка відбувається доти, доки частинки можуть «ковзати» порівняно вільно. Але ось, нарешті, ущільнення ускладнене, і відно вступає другий етап, який обумовлений тим, що різні ділянки рідкого прошарку, що огортає частинки порошку, відчувають дію різних стискаючих зусиль. Найбільше зусилля здавлювання він відчуває поблизу контакту частинок, де відбувається гальмування ковзань. Далеко від контакту плівка не зазнає суттєвих здавлювальних зусиль. Там, де плівка здавлена, речовина порошинок краще розчиняється в речовині рідкого прошарку, ніж у тих її ділянках, де він не зазнає стискаючих зусиль. Отже, у стиснутих місцях речовина порошинок буде розчинятися і дифузійно переміщатися уздовж рідкої плівки туди, де стискаючих зусиль немає. Це спричинить до зміни форми порошинок, яка дасть змогу полегшити процес ковзання і, в кінцевому підсумку, усадку. Дифузія в рідині здійснюється незрівнянно швидше, ніж у кристалічній речовині,

і, значить, необхідна для продовження усадки зміна форми будуватиметься досить інтенсивно.

Отже, рідкий прошарок у процесі спікання відіграє дві ролі: середовища, яке полегшує необхідність перетворення форми порошків, і мастила, що полегшує взаємне ковзання частинок [11-13].

Механізм спікання за участю рідкої фази певною мірою залежить від розчинності рідкої фази в твердій. У разі, якщо при температурі спікання забезпечується повне розчинення рідкої фази в твердій, відбувається утворення більш тугоплавкого, ніж рідка фаза, твердого розчину, твердого розчину. При цьому рідка фаза порівняно швидко зникає і подальше спікання протікає у твердій фазі.

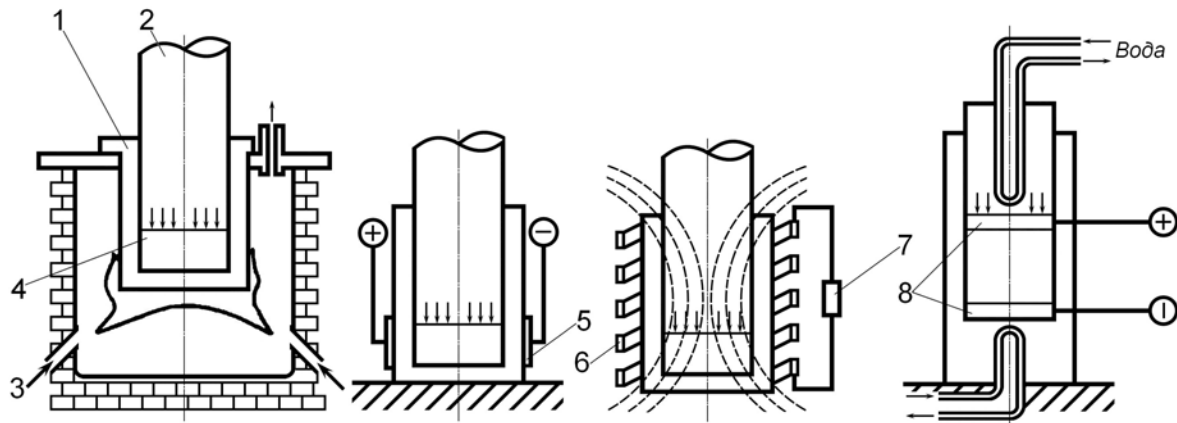
Прикладом спікання зі зникненням рідкої фази може слугувати спікання магнітно-твердих матеріалів із суміші порошків заліза, нікелю і алюмінію, за якого легкоплавкий алюміній, взаємодіючи з нікелем і залізом, утворює з ними тверді розчини. Рідкий алюміній зникає при цьому повністю.

Якщо при температурі спікання забезпечується лише часткове розчинення рідкої фази, то остання зберігається до кінця спікання. Ця обставина дає змогу отримувати вироби з найменшою пористістю.

Якщо компоненти взаємно нерозчинні, утворення твердих розчинів не відбувається; спостерігається лише затікання рідини в пори між частинками порошку. Рідка фаза в цьому випадку відіграє тільки роль мастила, не сприяючи розчиненню порошків. Усадка із зазначеної причини мінімальна.

Гаряче пресування. Іноді для отримання виробів з мінімальною кількістю пор здійснюють пресування матеріалу (шихти) нагрітого до $(0,5 \dots 0,8) T_{пл}$ (рис. 2.11). Гаряче пресування частіше застосовують для отримання виробів із крихких металів і сполук типу карбідів, боридів, силіцидів.

Як правило, гаряче пресовані вироби мають більш високі механічні властивості (межу міцності, відносним видовженням, поверхневою твердістю), кращою електропровідністю і більш точними розмірами.



1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – паливний газ; 4 – деталь, що формується; 5 – нагрівальний елемент; 6 – індуктор; 7 – високочастотний генератор; 8 – електроди

а – з полум'яним нагріванням прес-форми; б – з електронагріванням прес-форми; в – з високочастотним нагріванням прес-форми; г – з електронагрівом деталі:

Рисунок 2.11 – Основні методи гарячого пресування [13]

2.2.1 Практика спікання

Спікання пресовок проводять у печах найрізноманітнішої конструкції: дзвонових, муфельних, конвеєрних, вакуумних, печах-ваннах із розплавом солей або металів. Обов'язковою умовою під час спікання є оберігання пресовок від окислення, а також відновлення оксидних плівок, наявних на поверхні частинок.

У перших трьох випадках застосовують спеціальні захисні атмосфери (водень, дисоційований аміак, інертні гази - аргон, гелій, азот) або захисні засипки (наприклад, кварцовий пісок, окис алюмінію, графітова крупка, азбестовий дріб'язок). Найчастіше засипки застосовують комбіновані,

наприклад, окис алюмінію з добавкою графітової крупки, окис алюмінію або магнію з добавкою хрому, кремнію, ферохрому або феросиліцію. Захисні плівки сприяють також більш рівномірному прогріванню виробів, що спікаються, і запобіганню припікання їх один до одного.

Спікання в розплавлених середовищах може бути рекомендовано тільки для безпористих виробів. У цьому разі відбувається швидке прогрівання, і, як наслідок, прискорення процесу спікання. Під час спікання високопористих виробів їх укладають у графітові або керамічні оболонки.

Дуже хороші результати дає спікання у вакуумі, але воно менш продуктивне, ніж у печах із захисною атмосферою, і вимагає більш складнішого обладнання [1, 3].

3ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

3.1 Пористі проникні матеріали

Одним із важливих напрямів порошкової металургії є створення пористих проникних матеріалів, відмітною особливістю яких є наявність взаємопов'язаної системи пор. Така система пор забезпечує проникність газів і рідин, здатність затримувати чужорідні включення, транспорт рідини по капілярах і утримання її в порах, здатність поглинати енергію ударів і вібрації, розсіювати відкрите полум'я. Пористі проникні порошкові вироби характеризуються великою проникністю, стійкістю до теплових ударів, можливістю регенерації (частково або повністю відновлювати свої фільтрувальні здібності), а також мають можливість керування їхніми властивостями в широких межах.

Виробництво пористих матеріалів методом порошкової металургії охоплює дві основні технологічні операції, які визначають весь комплекс експлуатаційних властивостей одержуваних матеріалів: формування і спікання. Пористі матеріали розрізняють в залежності від матеріалу порошку, із якого їх виготовляють [3-5].

Бронзові пористі проникні матеріали. Основною сировиною таких виробів є порошок олов'янистої або свинцевої бронзи. Спосіб виготовлення передбачає спікання порошку вільним насипанням у спеціальному технологічному оснащенні (корозійнотривка сталь) у захисно-відновлювальній атмосфері за температури 800 ± 20 °C.

Пористі проникні матеріали з корозійностійкої сталі. Вихідним матеріалом є порошок корозійностійкої сталі X18H9 (ПРХ18H9). Спосіб виготовлення виробу передбачає пресування за тиску 500 МПа і спікання за температури 1300 °C. Відмінною особливістю виробів з корозійностійкої сталі є можливість застосування в агресивних середовищах.

Нікелеві пористі проникні матеріали. Вихідним матеріалом є порошок нікелевий карбонільний ПНК-0Т2. Спосіб виготовлення - пресування за тиску 300 - 400 МПа і спікання в середовищі захисно-відновлювальної атмосфери за температури 1000 - 1050 °С.

Титанові пористі проникні матеріали. Вихідним матеріалом є титанові порошки, відновлені з TiO_2 гідридом кальцію, а також порошки сплавів Ti-Zr-Al. Фільтрувальні елементи з порошку титану використовують для фільтрації питної води, соків із тонкістю фільтрації 3 - 10 мкм, очищення води від домішок заліза, алюмінію, інших металів, нітратів, бактеріологічних забруднень [4].

Високопористі комірчасті матеріали. Початковий матеріал - порошки К-монелю, нікелевих, мідних сплавів, ніхромів, керамічні. Спосіб виготовлення - осадження металевого порошку зі шлікера на полімерну основу з подальшим її термічним розкладанням, видаленням і спіканням металевих частинок за температур, що залежать від використовуваного матеріалу. Розмір осередків фільтрувального елемента від 0,5 до 5,0 мм, пористість - 99 %.

Ефективність фільтрації, яка визначається сукупністю двох протилежних властивостей – проникністю і ступенем очищення, вища у фільтрів, виготовлених із порошків сферичної форми. Тому для виготовлення фільтрів використовують або готові порошки з формою частинок, близькою до сферичної (отримані карбонільним методом або методом розпилення), або проводять сфероїдизацію порошків, наприклад, шляхом їх оплавлення в спеціальних засипках. Істотне значення надається отриманню гладкої поверхні частинок. Порошки з шорсткою поверхнею (наприклад, отримані методом відцентрового розпилення) піддають короткочасному розмелу у вихрових млинах, під час якого відбувається їхнє обкочування.

Металеві фільтри, як правило, виготовляються за одним із двох основних методів: 1) пресування або прокатування металевих порошків з подальшим спіканням; 2) спікання вільно насипаного порошку (без пресування) [5].

При виготовленні фільтрів за першим методом для забезпечення необхідної пористості та запобігання закриттю пор у шихту вводять

наповнювач. Пресування здійснюється за помірних тисків, що становлять 50 ... 200 МПа. Більш високий тиск пресування призводить до зменшення пористості.

Пористість не повинна знижуватися і при спіканні. Тому спікання доцільно проводити у дві стадії. На першій - низькотемпературній - відбувається розкладання і випаровування наповнювача, створюються невеликі і ще неміцні контакти між частинками. Друга - високотемпературна стадія - забезпечує більш інтенсивний процес спікання і створення міцних контактів.

Таким шляхом зазвичай виготовляють фільтри з тонкими порами, що характеризуються помірною проникністю, наприклад, для уловлювання твердих частинок розміром менше 5...6 мкм під час очищення дизельного палива.

Другий метод застосовується, коли до ступеня очищення не пред'являється високих вимог, але необхідна велика пропускна здатність, фільтри виготовляють із порівняно великих частинок розміром 0,2 ... 0,8 мкм. Порошок засипається у форми, а для кращого заповнення пустот піддається утрясці. Заключною операцією є спікання.

Пористі фільтри виготовляють у вигляді чашечок, циліндрів, втулок, труб, пустотілих конусів, свічок, дисків, плит; вони можуть мати найрізноманітніші різні розміри від дисків діаметром 1,5 мм до труб діаметром 300 мм і плит розміром 450×1200 мм.

Пористі матеріали спеціального призначення. До таких матеріалів належать «потіючі», бітуміноване пористе залізо, пористі снарядні пояски, пористі електроди [4, 5].

«Потіючі» - це високопористі матеріали (пористість понад 50 %), які, в основному, використовують в авіації для боротьби з обмерзанням крил літаків. Спеціальні деталі, виготовлені з порошків міді та нікелю (у низці випадків з додаванням олова), встановлюються в місцях найбільш інтенсивного обмерзання літака. Системою трубопроводів до цих деталей подається незамерзаюча рідина (антифриз), яка заповнює пори. Під дією повітряного потоку вона випаровується (випотіває) і таким чином перешкоджає осадженню льоду на кромці крила літака.

Друге призначення матеріалів, що «потіють», - охолодження деталей машин і агрегатів, що нагріваються під час роботи. Принцип охолодження полягає в тому, що за допомогою пористого матеріалу до нагрітої деталі підводиться газ або рідина, які, випаровуючись, виробляють охолодження прилеглого простору, виробляють охолодження прилеглого простору. Цей метод використовується для охолодження різних деталей газових турбін, реактивних двигунів, двигунів внутрішнього згоряння та іншого спеціального обладнання. Відомі приклади виготовлення пористих лопаток турбін із порошків нержавіючих аустенітних сталей, охолоджуваних стисненим повітрям, що дає змогу знизити їхню температуру до 600 °С. Зниження ж робочої температури металу дає змогу підвищити границю його тривалої міцності, збільшити термін служби і надійність відповідального вузла або машини.

Бітуміноване пористе залізо (зинтерит) застосовують для зачеканки стиків трубопроводів. Зинтерит отримують із грубих залізних порошків без попереднього пресування спіканням при 1200 ... 1350 °С з подальшим просоченням бітумами для підвищення корозійної стійкості. Зазвичай бітуміноване залізо виготовляють у вигляді стрічки.

У залізонікелевих акумуляторах, виготовлених звичайним способом, активна залізна маса укладається в ламелі з перфорованої жерсті, що істотно ускладнює технологічний процес їхнього виробництва. Більш простими у виготовленні і такими, що мають менші розміри є спечені електроди. Крім простоти виготовлення, порошкові електроди мають більш розвинену поверхню, що забезпечує стійке зниження поверхнею, що забезпечує стійке зниження величини перенапруги під час роботи акумулятора.

Порошкові акумуляторні пластини (електроди) виготовляють напресуванням активної нікелевої маси на залізну сітку. Наразі ведуться роботи з освоєння більш продуктивного методу виготовлення електродів - методу прокатки [5-8].

3.2 Титан. Порошкові сплави на основі титану

Титан - метал сріблясто-білого кольору з атомним номером 22, атомною масою 47,9 та густиною 4505 кг/м³. Його температура плавлення становить 1672°C. Існують дві поліморфні модифікації титану: низькотемпературна Ti-α з гексагональною щільноупакованою граткою (параметри $a=0,2951$ нм, $c=0,4684$ нм) та високотемпературна Ti-β з об'ємноцентрованою кубічною граткою ($a=0,3282$ нм за температури 900°C). Температура поліморфного перетворення титану - 882,5°C.

Чистий титан характеризується такими механічними властивостями: границя міцності $\sigma_B=250$ МПа, відносне подовження $\delta=60\%$, відносне звуження $\psi=80\%$. Зі зменшенням чистоти міцність зростає, проте пластичність та в'язкість знижуються.

Титан – хімічно активний метал, який, проте, швидко вкривається захисною плівкою оксидів на повітрі, завдяки чому набуває високої корозійної стійкості у повітрі, воді, органічних та неорганічних кислотах. Крім того, титан і сплави на його основі мають високу питому міцність. Недоліками титану є активна взаємодія з азотом, киснем та воднем, а також схильність до водневої крихкості. Азот, вуглець, кисень і водень, зміцнюючи титан, знижують його пластичність, опір корозії та зварюваність.

Титан важко піддається обробці різанням, але добре деформується тиском. Він добре з'єднується дуговим та контактним електричним зварюванням.

Внаслідок високої корозійної стійкості титану його доцільно використовувати для виробів, що працюють в агресивних середовищах.

Титан і титанові сплави виготовляються металургійним порошковим методом, що забезпечує їм надійний захист від забруднення через високу хімічну активність титану. Отримання якісного титанового порошку здійснюється передусім шляхом відцентрового розпилення в умовах вакууму

або середовища інертного газу високої чистоти. Формування виробів з цих порошків зазвичай не передбачає введення зв'язувальних речовин, а спікання заготовок відбувається у вакуумі.

Промислове виробництво порошків титану та його сплавів охоплює декілька основних методів:

Метод виготовлення титанового порошку з відновленої губки натрію характеризується великою продуктивністю, низькою вартістю та належною пластичністю порошку, що робить його придатним для холодного формування загальних корозійностійких виробів. Однак внаслідок присутності натрію та хлоридних іонів ускладнюється технологічний процес і погіршуються зварювальні властивості матеріалу під час спікання.

Електролітичні титанові порошки мають вищу чистоту, ніж губчасті, завдяки зменшеному вмісту натрію, проте їхню формувальність поступається останнім.

Отримання гідрогенізованих титанових порошків та порошків його сплавів забезпечує високу якість та дрібнодисперсність, проте відзначається невеликими партіями й відносно високою вартістю виробництва.

Метод відцентрового розпилення, започаткований у 1960-х роках американською корпорацією ядерних металів для виробництва попередньо легованих титанових порошків, уможливорює здобуття сферичних порошкових частинок високої чистоти, однорідного складу та належної плинності з густиною засипки 65% від теоретичної. Такі порошки, придатні лише для термічного формування та виготовлення деталей складної форми гарячим ізостатичним пресуванням, є основною сировиною для порошкової металургії аерокосмічних виробів. Попри переваги, цей метод не позбавлений недоліків, зокрема можливого забруднення вольфрамом під час дугового розпилення обертового електроду, що знижує втомні характеристики матеріалу. Подолати таке забруднення вдалося шляхом вдосконалення процесів відцентрового розпилення із застосуванням електронно-променевого або плазмового нагріву.

4 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

4.1 Характерні дефекти пресованих заготовок та їхні причини

Під час пресування можуть зустрітися такі основні види браку:

- 1) поперечні та діагональні тріщини (найнебезпечніший і найчастіше зустрічається);
- 2) брак за розмірами;
- 3) недопресування.

Утворення тріщин пояснюється високими тисками пресування, нерівномірністю розподілу в пресуванні домішок, нерівномірним скиданням тиску і занадто повільним випресуванням, наявністю в пресованому виробі тонких стінок або різких переходів. Брак за розмірами пояснюється неточністю дозування, порушенням режиму пресування, неправильними розмірами або конструкцією прес-форми [11].

4.2 Характерні дефекти при спіканні

Основні види браку, які виявляють під час спікання: приховане розшарування, викривлення і спотворення форми, перепал, недопикання, окислення, скоринка.

Приховане розшарування – це дефект, що утворюється у вигляді дрібних тріщин при неправильному режимі пресування. У процесі спікання відбувається збільшення розмірів цих тріщин, і вони стають помітними неозброєним оком.

Короблення і спотворення форми – найчастіше спостерігається у тонких виробів, шихтою для яких служили тонкі порошки, що дають значну усадку. Коробленню сприяє погане змішування компонентів шихти, нерівномірна щільність пресовок і швидкий підйом температури при спіканні. Цей вид браку може бути виправлений холодною або гарячою обробкою тиском.

Перепад – невиправний дефект. Є наслідком значного перевищення температури при спіканні. Виражається в розтріскуванні або оплавленні поверхні виробів.

Недопикання – знижена міцність і щільність. Можна виправити повторним спіканням.

Окислення – вид браку, пов'язаний з підсмоктуванням повітря під час спікання.

Якщо компоненти шихти не утворюють важко відновлюваних оксидів, окислення може бути усунуто повторним нагріванням у відновлювальній атмосфері.

Скоринка – являє собою відшарування поверхні. Пояснюється розкладанням органічних зв'язок, що вводяться в шихту для поліпшення пресованості порошків. Брак невиправний [11].

5 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Активовані порошки з покриттям розміщували в реакторі дилатометра «Netzsch 402 E» (Німеччина) з ущільненням порошку і здійснювали нагрівання зі швидкістю 5-8 °C/хв, що давало змогу визначати температури фазових перетворень. За діаграмами подвійних сплавів визначали можливе утворення хімічної сполуки в покритті та на межі покриття - порошок. Проводили повторне випробування з розміщенням по краях порошку ПЖРВ, покритого (Si+Mo), що давало змогу замкнути досліджуваний порошок у реакторі та провести спікання з ізотермічною витримкою. У спеціальному контейнері розміщували у вільному засипанні порошки титану з нанопокриттям (Si+Mo), (Si+C) або (W+C). Отриманий спік випробовували на стиск із визначенням $\sigma_{ст}$ композиційного матеріалу. Вивчення морфології поверхні частинок і покриттів після нагрівання в дилатометрі та вакуумній печі проводили на скануючому електронному мікроскопі високої роздільної здатності «Mira» фірми «Tescan» (Чехія). Фазовий склад частинок із покриттям визначали на дифрактометрі ДРОН-3.0 у CuKa-монохроматизованому випромінюванні, вторинну монохроматизацію здійснювали піролітичним графітом за програмою автоматизованого рентгенівського дослідження «WinDif» [14].

5.1 Механічні властивості

Залежно від призначення, спечені матеріали (як і компактні) можуть піддаватися випробуванню на розтягнення, вигин, стиснення, твердість та інші механічні властивості. Випробування можуть проводитися за кімнатної,

підвищених і мінусових температур. Разом з тим, є деякі особливості як у самому характері механічних властивостей, так і в методиці їх визначення.

Механічні властивості спечених матеріалів головним чином залежать від пористості, величини контактної поверхні та характеру контакту між частинками. Отже, механічні властивості залежать не стільки від хімічного складу, скільки від гранулометричного складу і форми частинок вихідного порошку, технології пресування, спікання, термічної обробки. За інших рівних умов міцнісні та пластичні характеристики зростають зі зменшенням пластичні характеристики зростають зі зменшенням пористості.

Для випробування спечених матеріалів зазвичай застосовують ті самі машини і прилади, що і для випробування компактних матеріалів; існують і спеціально розроблені пристрої. Зразки виготовляють шляхом пресування і спікання. Заключними операціями для отримання точних розмірів є калібрування і доведення. Конструкції зразків зі спечених матеріалів відрізняються відсутністю різких переходів за перерізом. Нерідко застосовуються зразки, схожі на ті, що використовуються для випробувань компактних металів і сплавів. Так, ударну в'язкість визначають на зразках типу Менаже, але без надрізу, бо роль надрізів відіграють пори.

Особливістю випробування твердості спечених матеріалів на приладах Брінеля і Роквелла є застосування малих навантажень. Наприклад, визначення твердості твердих сплавів проводиться на приладі Роквелла за допомогою алмазного конуса при навантаженні не 150 кгс, а 60 кгс (шкала А).

5.2 Фізичні властивості

До фізичних властивостей належать густина, електропровідність, теплопровідність, магнітні властивості.

Густину (питому густину) спечених виробів простої форми визначають геометричним вимірюванням об'єму і зважуванням. Визначення густини виробів складної форми проводять шляхом гідростатичного зважування.

Електропровідність і теплопровідність. Ці характеристики найповніше характеризують електричні та теплові властивості. Спостерігається пряма пропорційна залежність теплопровідності та електропровідності від густини. Разом з тим, на електричні властивості впливає і величина частинок вихідного порошку.

На теплові та електричні властивості спечених матеріалів впливає також температура випробування. З підвищенням її відбувається зниження теплопровідності та електропровідності.

Магнітні властивості спечених виробів значною мірою залежать від пористості. З підвищенням пористості спостерігається їх різке зниження. При однаковій пористості основний вплив на магнітні властивості надає форма пор. Чим ближче вона до сферичної, тим вища максимальна магнітна проникність.

На магнітні властивості впливають також наклеп, середовище спікання, але, перш за все, хімічний склад виробів.

5.3 Особливості металографічних досліджень

Комплекс механічних і фізико-хімічних властивостей спечених матеріалів залежить багато в чому від їхньої будови, яка є функцією матеріалів залежить багато в чому від їхньої будови, яка є функцією не тільки хімічного складу вихідних порошків, а й питомого тиску при пресуванні, режиму спікання і подальшої термічної обробки.

Для налагодження виробничого процесу та його контролю найчастіше найчастіше користуються візуальним (або за допомогою невеликого збільшення) спостереженням зламів, тобто макроаналізом. При цьому за зломом

визначають розмір зерна, раковини, розшарування, судять про рівномірність спікання і однорідності будови виробів за перетином, про наявність оплавлення, окислення і знеуглецювання.

Однак за певних умов макроаналіз не дає змоги отримати вичерпних відповідей. Тоді вдаються до більш тонкого методу – вивчення мікроструктури. Мікроструктура спечених матеріалів і виробів, як і мікроструктура литих металів і сплавів, може бути або однорідною, або являти собою суміш двох або більше фаз. Особливістю мікроструктури може бути наявність спечених металевих частинок з неметалевими. Як правило, у структурі спостерігаються пори.

Вивчення мікроструктури спечених матеріалів здійснюється за допомогою світлових або електронних мікроскопів. Приготування шліфів для цієї мети здійснюють методами, відомими з металографії. Дещо відрізняється приготування шліфів із твердих сплавів. Відмінність полягає в тому, що шліфування проводиться на чавунному диску, на який наносять змочений у гасі порошок карбіду бору (тобто без використання наждачного паперу). Полірування шліфів із твердих сплавів принципово не відрізняється від загальноприйнятого, здійснюється на сукні або фетрі алмазною пудрою, розведеною трансформаторним маслом.

Травлення мікрошліфів для виявлення мікроструктури проводять зазвичай тими ж реактивами, які застосовують у металографії литих металів і сплавів.

Розглянемо конкретні випадки, коли мікроаналіз є єдиним способом контролю якості спечених виробів. Властивості виробів нерідко залежать від величини, форми і характеру розташування пор, що можна визначити тільки металографічним шляхом. Так, дрібні замкнуті округлої форми пори сприяють забезпеченню хороших механічних властивостей. Однак не завжди прагнуть отримувати в спечених виробах дрібні пори. Магнітні властивості, наприклад, підвищуються в тому випадку, коли за певної загальної пористості матеріалу

кількість пор знижується. Таким чином, у цьому випадку прагнуть до отримання не дрібних, а великих пор.

У низці випадків, наприклад, коли мають справу з виготовленням пористих самозмащувальних підшипників, прагнуть отримувати не замкнуті, як у попередніх прикладах, а сполучені між собою пори, через які могло б проходити мастило. Сполучними порами, що сполучаються повинні мати також металеві фільтри і матеріали, що «потіють».

Під час виробництва високовуглецевих спечених матеріалів необхідно знати, в якому стані в них міститься вуглець: у твердому розчині, у вигляді графіту або окремих карбідних фаз, бо від цього залежать властивості готових виробів. Наприклад, для антифрикційних матеріалів неприпустима присутність вуглецю у вигляді карбідів, що призвело б до підвищення коефіцієнта тертя. У структурі твердих сплавів, навпаки, не допускається наявність графіту.

Під час металографічного аналізу встановлюються розмір зерна, присутність різних фаз, характер розподілу окремих структурних складових, наявність неміцних структурних складових, наявність неметалевих частинок.

Шляхом металографічного аналізу визначається величина контактних поверхонь між частинками порошків, і за цією ознакою встановлюється і контролюється режим спікання деяких видів порошкових матеріалів.

5.4 Технологічні проби та випробування порошкових матеріалів

Контроль якості здійснюється шляхом безпосереднього вибіркового випробування готових виробів або спеціальних зразків і може включати: візуальний огляд поверхні виробів з метою виявлення тріщин, розшарувань, відколів, осипання граней, невідповідності розмірів; визначення якості за звуком при ударах деталей одна об одну; механічні випробування; спеціальні види контролю залежно від призначення і властивостей виробів. Наприклад,

антифрикційні деталі перевіряють на мікроструктуру, щільність і маслопоглинання, фільтри - на проникність.

Пористість. Загальна пористість Π спечених виробів складається з відкритої Π_1 і закритої Π_2 пористості

$$\Pi = \Pi_1 - \Pi_2 \quad 5.1$$

Відкрита пористість - це об'єм пор, що сполучаються з поверхнею виробу, а закрыта представляє об'єм ізольованих пор, які не мають виходу до поверхні (рис. 5.1). У свою чергу відкрита пористість складається з наскрізних Π_3 і тупикових Π_4 пор

$$\Pi_1 = \Pi_3 + \Pi_4 \quad 5.2$$

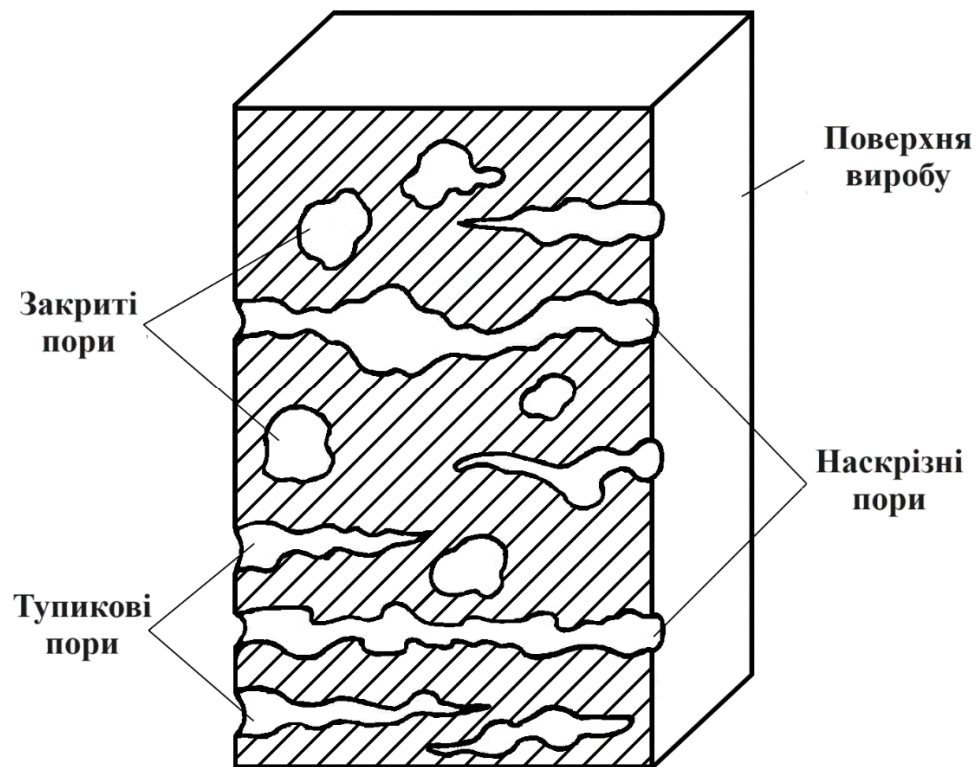


Рисунок 5.1 – Наскрізні, тупикові та закриті пори[13]

Таким чином, загальна пористість визначається сумою наскрізних, тупикових і закритих пор (див. рис. 2.1)

$$\Pi = \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 \quad 5.3$$

Визначення пористості має велике практичне значення під час виготовленні антифрикційних і «потіючих» виробів, а також фільтрів. Причому, якщо для антифрикційних виробів важливо знати величину відкритої пористості, оскільки саме ці пори утримують мастило, то для «потіючих» і фільтрів важливі тільки наскрізні пори. У всіх випадках закриті пори небажані, оскільки вони не беруть участі ні в фільтрації, ні в утриманні мастила, ні в пропусканні холодоагенту, а сприяють лише ослабленню міцності виробів.

При визначенні пористості виробів спочатку у вакуумі видаляють гази, зважують на повітрі, а потім їх просочують рідиною, після чого проводять визначення загальної, відкритої та закритої пористості.

6 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Виготовлення фільтрів з пористих порошкових матеріалів для використання в агресивних середовищах

Експлуатація фільтрувальних елементів в умовах агресивних середовищ і температур можлива в разі виготовлення їх з пористих порошкових матеріалів (ППМ) формуванням і спіканням зі сферичних порошків кераміки, титану, кислотостійких сталей. Спікання у вільному засипанні сферичних порошків практично неможливе. Застосування знайшла технологія формування з легкоплавкими добавками при спіканні в умовах пружнопластичного підпресування [1]. У роботі запропоновано виготовлення пористі порошкові матеріали зі сферичних порошків титану шляхом магнетронного нанесення конденсату на порошки в умовах роздільного синтезу, що досягається розпиленням поверхні катодів при бомбардуванні прискореними іонами робочого газу. Умови розпилення визначаються розподілом частинок щодо емісійного потоку, напругою горіння плазми, струмом розряду, залишковою атмосферою камери, матеріалом мішені - катодів, густина струму падаючого іонного пучка. Лінійна залежність вольт-амперної характеристики, низький тиск (0,3 Па) і висока магнітна індукція (до 100 мТл) визначають стабільність технології осадження конденсату [2]. Нанесення на мікропорошкі тонких покриттів із суміші елементів вимагає збільшення тривалості процесу, що змінює температурні умови розпилення, геометрію та розміри комбінованих катодів.

Формування порошків із покриттям можливе в металевій прес-формі. Реакційне спікання відформованих порошків у покритті та на межі покриття - частинка призводить до взаємодії з утворенням карбідів або силіцидів. Присутність конденсату на активованій плазмою тліючого розряду поверхні забезпечує взаємодію в покритті та на межі покриття - частинка при низьких

(650 - 850°C) температурах. Для протікання реакції в об'ємі покриття необхідна дифузія через тонкі шари сполуки, що утворилися. Це вимагає підвищення температури до 850-900°C.

Процеси спікання відформованої пористої заготовки з порошків з покриттям протікають внаслідок зростання площі контакту, де під впливом температури формується шийка. Підвищення температури призводить не тільки до спікання за графітом, а й до утворення складних карбідів, що зміцнюють силіцидну сполуку фільтрів, яка виступає в ролі високотемпературного припою. Етапи отримання пористих порошкових фільтрів матеріалів (ППМ) на основі порошків титану включають:

- а) обробку ПТР (плазмою тліючого розряду) вихідного порошку Ti, операція проводиться передкожною розгерметизацією і після зміни катода;
- б) розпилення моно-Si і -C і комбінованих (Mo+Si)/(W+C) катодів і осадження конденсату на очищену поверхню вихідних частинок;
- в) формування під тиском $p < \sigma_{0,2}$ Ti в прес-формі;
- г) активоване спікання у вакуумі при нагріванні до температур 900-1000°C з ізотермічною витримкою.

Ефективність магнетронного розпилення й осадження визначали за допомогою електромагнітної системи з автоматичною стабілізацією процесу. Використовували низькі значення тиску робочого газу до 0,3-0,35 Па при струмі котушки до 1 А, що збільшувало присутність металу в плазмі. Матеріал для покриття обирали сумісний з Ti-основою (Si, SiC, MoSi₂). Осаджуваний в умовах роздільного синтезу конденсат із суміші Si - C або Si - Mo вступає в реакцію на етапі спікання. Тривале розпилення (>60 хв) і сипкість сферичних порошків при перемішуванні дають змогу отримати покриття товщиною > 250 нм, формування яких протікає під тиском $p < \sigma_s$ матеріалу основи (200 МПа). Формування порошків з покриттям у металевій прес-формі супроводжувалося видавлюванням конденсату зі збільшенням площі контакту. Утворення карбідів і силіцидів (реакції екзотермічні) протікає у вакуумі за нагрівання до температур <1000 °C. Спікання порошків з покриттям протікає у два етапи: перший –

реакційне спікання $\text{Mo} + 2\text{Si} = \text{MoSi}_2$ (зі збільшенням об'єму елементарної комірки, оскільки $r_x/r_{\text{me}} > 0,59$ (правило Хегга), то утворюються силіциди зі структурою розчинів заміщення) і другий етап – активоване спікання виробу з формуванням остаточних властивостей [3]. Магнетронне розпилення комбінованих катодів зі співвідношенням площ у зоні інтенсивної ерозії відповідає стехіометричному складу сполук. Неоднорідний емісійний потік при тривалому розпиленні формує в центрі атоми високощільного Мо, на периферії – атоми (кластери) Si. Вольфрам розпилювався на периферії, а в центрі – графіт (катод конічної форми).

Розпилення комбінованих катодів Мо - Si, W + C (охолоджувач у контакті з Si і W) призводить до ерозійного зношення поверхонь із профілем, що відповідає кривій нормального розподілу. Тривале розпилення призводило до нагрівання вуглецевого катода і розпилення його у вигляді краплинної фази зі збільшенням розпилюваної площі знижувало іонний струм розряду. У покритті з суміші W – С при подальшому спіканні в дилатометрі за 900 °C утворюється WC. Вуглець за рахунок дифузії в частки порошку Ti утворює карбіди TiC. Порівнюючи теплофізичні властивості розпорошуваних матеріалів і матеріалу порошку (табл. 6.1), визначено максимальні термічні напруження, що дорівнюють окружним напруженням σ_n , здатним зруйнувати тонкоплівкове покриття. У довільному перерізі $\sigma_i = \sigma_n$ визначено за рівнянням [4]:

$$\sigma_n = \sigma_i = \alpha \Delta T K_\phi E / (1 - \mu), \quad 6.1$$

де α – коефіцієнт термічного розширення;

ΔT – перепад температур;

K_ϕ – коефіцієнт форми;

E – модуль пружності;

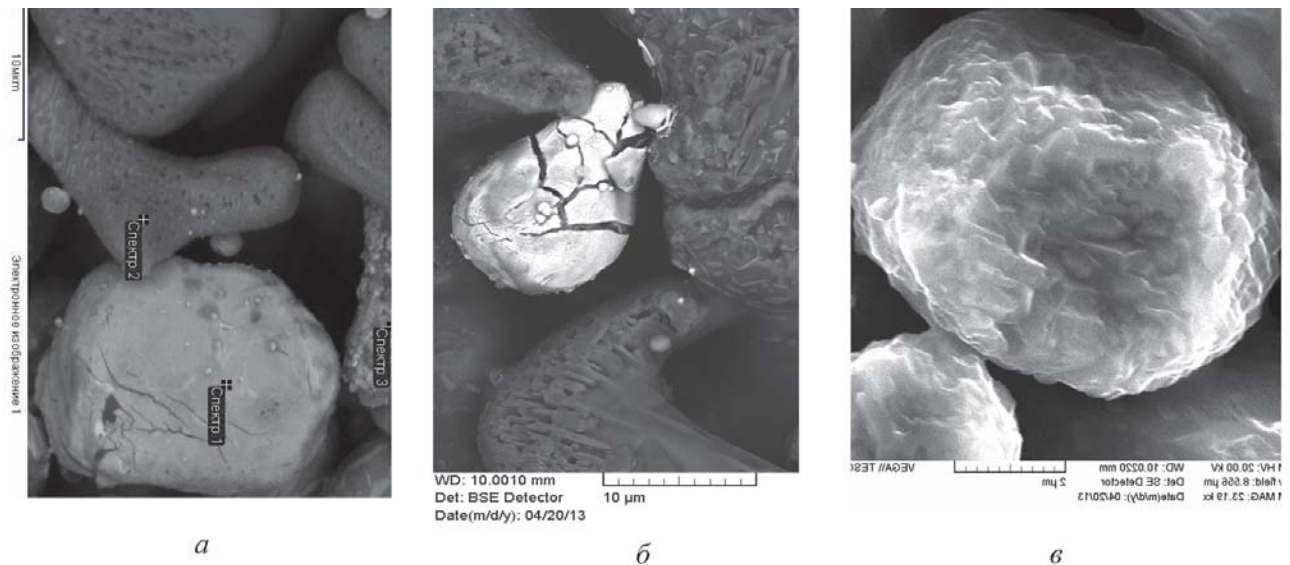
μ – коефіцієнт Пуассона.

Сплав ЕП 131 захищає вольфрамове покриття, формуючи рельєфну форму поверхні, тріщини відсутні (рис. 6.1).

Конденсат із суміші W + C і Mo + Si являє собою багатокомпонентну систему з обмеженою взаємною розчинністю з Ti. Реакційне спікання протікає за екзотермічними реакціями ($W + C = WC$) і ($Mo + 2Si + C = MoSi_2C$). При нагріванні зі швидкістю 5-8 °C/хв спостерігається розширення частинок Ti, що руйнує покриття.

Таблиця 6.1 – Теплофізичні властивості матеріалів, що розпилюються

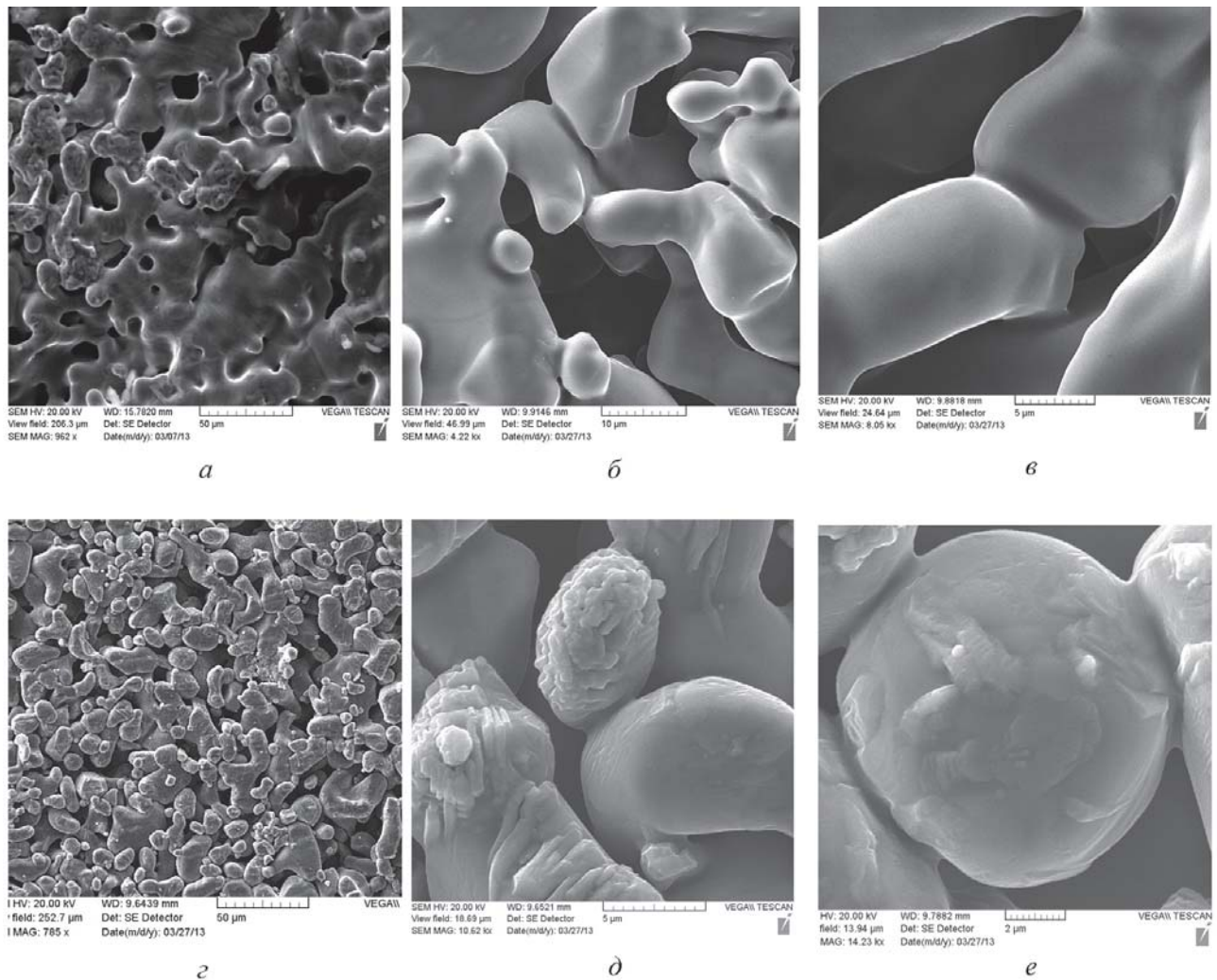
Властивості	Ti	Si	C	Mo	W	Co
Густина ρ , 10^3 кг/м ³	4,6	2,49	2,35	9,01	9,3	9,25
Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	21	30,6	15,5	138	168	142
Теплоємність c , кал/(кг·°C)		0,84	5,4	244	134	460
КТЛР α , 10^6 °C ⁻¹	8,9	3,72	0,6	5,1	4,5	12
Температуропровідність α , 10^{-6} м ² /с		9,4	0,1	0,63	0,63	0,33
Температура плавлення $T_{пл}$, °C	1668	1412	3550	2620	3380	1480



W - 40 хв, C - 2 год, W - 2 год, C - 1 год, Si+C (з добавками до 5% Al) 1 год (а) і C - 1 год (а) або W - 40 хв, C - 2 год, W - 2 год, C - 1 год (б) і з додатковим шаром сплаву ЕП 131 (в)

Рисунок 6.1 – Морфологія зламу спеченого зразка на основі порошку титану з покриттями

Морфологія поверхонь фільтрувальних елементів, відформованих у металевій прес-формі спечених у вакуумній печі за низької температури, показана на рис. 6.2. На одному боці фільтраосідав шар кобальтового сплаву ЕП131, морфологія його поверхні наведена на рис. 6.2, г, д, е. Наявність графіту і відсутність ковалентних зв'язків у покритті дає змогу ущільнювати частинки з переміщенням відносно одна одної з отриманням спечених виробів за відсутності тріщин.



(а) фільтрувальний, спечений елемент з покриттям з утворенням MoSi_2 з гладенькою поверхнею в розсіяних (б) і відбитих електронах (в) і після покриття протягом 5 хв кобальтовим сплавом ЕП 131 (г) з поверхнею, сформованою кластерами в розсіяних (д) і відбитих електронах (е)

Рисунок 6.2 – Морфологія поверхонь

Титан у зоні контакту з конденсатом утворює високо- і низькотемпературні фази TiSi і TiSi_2 за 650-900 °С. Процес ущільнення при спіканні ППМ відбувається внаслідок в'язкої течії конденсату в об'єм пор.

Встановлено, що коефіцієнт проникності та середній діаметр пор залежать від тиску пресування. Зі зростанням тиску пресування знижується розмір пор і збільшується коефіцієнт проникності. Зразок 125 після спікання піддавався покриттю поверхні фільтра протягом 5 хв сплавом кобальту. Отримані фільтри мали гладку поверхню після спікання. Встановлено, що залежно від часу нанесення (товщини) покриття з кобальтового сплаву ЕП 131 колір спеченого фільтрувального елемента змінюється від синього (1 хв) до коричневого (3 хв) і сірого (6 хв). Результати випробувань фільтрувальних елементів на проникність наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Дослідження проникності та розміру пор

№ зразка	Тиск формування, МПа	Товщина h, см	Вихідна площа S_v , см^2	ΔP , ммвод.ст.	ΔP_{max} , ммвод.ст.	$\Delta P_{\text{ср}}$, ммвод.ст.	Коефіцієнт проникності, $K_{\mu} \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$	d_{max} , мкм	$d_{\text{ср}}$, мкм
125, Ti	280	0,2	2,2	8700	1250	1950	4,65	7,9	5,0
124, Ti	150	0,2	2,2	1200	780	1870	26,53	10,8	6,1
125	120	0,22	3,97	1200	2050	1800	39,18	8,2	5,5

До складу матеріалу катода зі сплаву ЕП 131 входять 17-19% Cr, 10-12% Ni, 13-15% W, решта -Co. Використання кобальтового сплаву із вмістом вуглецю <0,05% забезпечує жароміцність корозійну стійкість, високу в'язкість руйнування нанопокриття [5].

Нанесення конденсату-покриття в умовах роздільного синтезу із суміші атомів, що вступають у реакцію в покритті і взаємодіють з металом основи під час тривалого розпилення комбінованих катодів, на сферичні мікропорошки титану дає змогу спікати порошки у вільній засипці. Нанопокриття повторюють поверхню, на яку осідають. Нанесені активні технологічні покриття товщиною, близькою до 1 мкм, беруть участь у деформації під час формування частинок у

металевій прес-формі. Пресування проводили за тиску $p < \sigma_s$ матеріалу частинок. Збільшення тривалості процесу розпилення до 3 год, щонайменше на порядок від загальновизнаних, дало змогу виготовити порошки-композити товщиною покриття понад 300 нм. Розміщення порошку на відстані до 200 мм від катода в зоні плазмової тіні, де потоки, що розпилюються в умовах роздільного синтезу, мають низьку енергію, дає змогу конденсувати кремній, молібден, графіт, кобальт (сплав ЕП131) у вигляді суміші елементів. Отримані порошки-композити з технологічним покриттям із суміші кремнію та молібдену при нагріванні до 570°C взаємодіють з утворенням легкоплавкого припою MoSi_2 .

При збільшенні температури спікання до 1000 °C у вакуумі порошки мають активну поверхню і добре формуються, дають змогу виготовити фільтри з хорошим заповненням об'єму, що забезпечує виконання технологічної функції створення нового композиційного пористого матеріалу з каркасною структурою. Встановлено, що коефіцієнт проникності досягає максимального значення за низького тиску, середній діаметр пор залежить від тиску пресування, зі зростанням якого знижується розмір пор. Отримані фільтри мали гладку поверхню після спікання. Для спечених зразків зміна напрямку фільтрації зразків зміна напрямку фільтрації досягалася шляхом нанесення покриття товщиною до 5 мкм зі сплаву кобальту ЕП. Зі зростанням тиску і розміру частинок, що переносяться, проникність фільтра знижується. Нанесення нанопокриттів з карбіду кремнію або дисиліциду молібдену на сферичні порошки, розміри яких відрізняються в 4-5 разів, дає змогу отримати ППМ з високими характеристиками порової структури.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи із охорони праці при: розробці технології виготовлення виробів з порошкових матеріалів .

7.1 Аналіз потенційних небезпек :

а) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електричної безпеки, що може привести до електричних травм, або летального наслідку;

б) небезпеки які пов'язані із проведенням випробувань механічних властивостей дослідницьких зразків, зокрема можливості отримання механічних травм;

в) небезпеки які пов'язані з проведенням іспитів на термоциклування, зокрема термічні опіки при непередбачуваному торканні нагрітих виробів;

г) небезпеки які пов'язані з виготовленням дослідницьких зразків методом контактного зварювання;

г) недоліки в організації робочого місця дослідницької лабораторії, що може бути пов'язане з не виконанням умов ергономіки;

е) небезпеки які пов'язані з обробкою результатів з використанням комп'ютерної техніки;

є) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну;

ж) незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

- з) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;
- і) небезпеки які пов'язані з роботою в умовах військового стану.

7.2 Заходи щодо забезпечення безпеки :

а) З метою забезпечення електробезпеки, є - виконання організаційних заходів, для попередження уражень електричним струмом.

До виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЄ 2013.

- ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал.
- для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.
- технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В – 6 м).
- всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огорожені суцільними огорожами.
- відкриття яких можливі тільки за допомогою спеціальних пристроїв.
- опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.
- обов'язковим є захисне заземлення або занурення.
- обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти.
- обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини, зокрема кільцеві вимикачі.
- блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

Електробезпека обслуговуючого персоналу залежить від розташування органів управління відносно електричних ланцюгів. Зокрема кабіна ПТМ розташовується з протилежної сторони відносно тролей.

б) При випробуванні на механічні властивості дослідницьких зразків необхідно притримуватись основних запобіжних заходів.

Випробування матеріалів пов'язаних з внутрішньою загрозою із-за високих потужностей, швидких рухів. Робітник повинен уважно вивчити всі відповідні інструкції користувача та попередження, завжди пам'ятати про всі рухомі та працюючі компоненти машин, які є потенційно небезпечними, зокрема про силові приводи і рухомі головки.

Основні загрози при роботі з випробувальним обладнанням:

- загроза вильоту осколків – неправильне закріплення зразків створює тиск на елементи кріплення або захвати, що може призвести до їх поломки. Випробування проводяться на високих швидкостях, і існує можливість посиленого викиду зламаної частини за межі робочої зони. Щоб уникнути вильоту осколків, зразок слід встановити в центрі губок захвату і вирівняти його по напрямку навантаження. Використовуючи всі прикладені центруючі і вирівнюючі пристосування.

- загроза деталей що обертаються – якщо обладнання необхідно включити для обслуговування зі знятими захисними панелями, переконайтеся, що висячий одяг, довге волосся і т. д. надійно зібрані.

- неправильне налаштування обмежувача – правильне налаштування робочих обмежувачів, проведена до початку випробування, зменшить ризик пошкодження зразка, системи або загрози для оператора.

- пошкодження електричних кабелів – втрата сигналів управління і зворотного зв'язку, викликана розмиканням мережі або пошкодженням кабелю, може змусити компоненти системи рухатися на максимумі. Ніколи не розташовуйте кабелі на підлозі без відповідного захисту, не піддавайте їх перегріву під надмірним навантаженням. Використовуйте прокладки для зменшення тертя в місцях, де дроти проходять по кутах або через отвори.

в) Для запобігання термічних опіків при виконанні випробувань на термоциклування передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема рукавиці спеціальні ГОСТ 12.4.010-75.

г) Вимоги безпеки встановлюються у нормативній документації згідно з ГОСТ 3.1120 і повинні відповідати даному стандарту.

Під час проходження технологічних процесів контактного зварювання металів необхідно передбачати максимально можливу механізацію та автоматизацію процесу зварювання і його окремих елементів.

Устаткування, яке використовується для контактного зварювання, має відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003, вимогам безпеки до електротехнічних устаткувань згідно з ГОСТ 12.2.007.8, а також «Правилам устройства электроустановок», «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей».

Устаткування контактного зварювання необхідно оснащувати захисними пристроями (екранами, тощо згідно з ГОСТ 12.2.062), які захищають працюючих від бризок розплавленого металу, електромагнітного випромінювання та інфрачервоної радіації, мати блокування — заборону на експлуатацію устаткування без системи захисту.

Розташування захисних пристроїв не повинно обмежувати технологічних можливостей устаткування під час його експлуатації.

Захисні пристрої (переносні екрани, фільтровентиляційні агрегати), які переміщують вручну, повинні бути легкознімними, мати масу не більше 6 кг, а під час відкривання переміщення повинні виконуватись зусиллям не більше 40 Н (4 кгс).

За наявності однієї загальнообмінної вентиляції допускається виконання робіт з контактного зварювання металів з чистою поверхнею. При цьому повітрообмін повинен становити не менше 600 м³/год повітря на кожні 50 кВА установки.

Під час стикового зварювання оплавленням об'єм видаленого повітря з місцевого витяжного устаткування (укриття) повинен компенсуватися із швидкістю підсмоктування не менше 1 м/с.

Щоб уникнути розбризкування розплавленого металу під час точкового або шовного зварювання, необхідно забезпечувати щільне взаємне прилягання зварюваних елементів з установленням допустимих зазорів.

Температура охолоджуючої води на виході з шовних машин із зовнішнім водяним охолодженням роликів повинна бути в межах 25 — 30 °С, якщо за умовами праці руки зварника змочуються водою. Зварник повинен стояти на ізоляційному настилі завширшки не менше 0,7 м.

Під час контактного зварювання необхідно застосовувати зварювальне та технологічне устаткування відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.017, ГОСТ 12.4.040 та СП № 1042.

Корпуси машин контактного зварювання і шаф управління, педальні пускові кнопки, а також вторинні обмотки трансформаторів повинні бути заземлені.

Вимоги до виконання захисного заземлення повинні відповідати ГОСТ 12.2.007.0.

На помітних місцях корпусів машин і устаткування, що знаходяться під напругою, повинен бути напис:

«БЕЗ ЗАЗЕМЛЕННЯ НЕ ВМИКАТИ!»

Підключення і вимикання мережі живлення устаткування для контактного зварювання, спостереження за справним станом, а також ремонт повинен провадити електротехнічний персонал, що має групу допуску не нижче III.

Вторинна напруга холостого ходу зварювального трансформатора контактної машини в процесі експлуатації не повинна перевищувати 42В.

Для підвісних машин із вбудованим зварювальним трансформатором напруга живлення кіл керування, що розташовані безпосередньо на зварювальних кліщах, не повинна перевищувати 42В для кіл змінного і 110В — для кола постійного струму.

Підвісні машин з вбудованим трансформатором повинні мати блокування, яке не допускає увімкнення кола без заземлення корпусу машини.

Машини для контактного зварювання повинні мати обладнання та інші пристрої, що захищають оператора та обслуговуючий персонал від механічних травм, відповідно до вимог безпеки до пресового устаткування згідно з ГОСТ 12.2.017.

Машини, які оснащені нагромаджувальними конденсаторами, повинні мати обладнання для автоматичної випереджувальної розрядки конденсаторів при доступі до них.

Машини контактного зварювання в робочій зоні повинні бути оснащені захисними засобами згідно з ГОСТ 12.2.062, які охороняють оператора від вибризувань металу і забезпечують безпечне спостерігання за зварюванням. Пневмосистеми машин контактного зварювання повинні бути обладнані глушниками шуму. Стикові і шовні машини повинні бути обладнані витяжною вентиляцією.

Рухомі частини підвісних машин повинні бути закріплені страхувальними ланцюгами або тросами.

Для спостереження за припливом води, яка охолоджує електроди контактних машин та інших елементів вторинного контуру, слід застосовувати манометри, реле тиску і відкриті лійки.

Машини шовного зварювання із зовнішнім водяним охолодженням роликів повинні мати корито-піддон для збирання води, що стікає, і обладнані настилом завширшки не менше 0,7м з ізоляційного матеріалу.

Не дозволяється провадити ремонт машин контактного зварювання й їхніх пристроїв, що знаходяться під напругою.

Устаткування для контактного зварювання необхідно регулярно, до початку кожної зміни, перевіряти на цілісність заземлюючого провода, справність ізоляції проводів і кабелів, відсутність замикання між обмотками високої і низької напруги, справність блокіровок зовнішнім оглядом.

Персонал, який допускається до виконання робіт з контактного зварювання, повинен мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче II відповідно до «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» та «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

До виконання контактного зварювання допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли попередній медичний огляд, навчання, інструктаж і перевірку знань вимог безпеки відповідно до ГОСТ 12.0.004 під час роботи на контактному та пресовому устаткуванні, а в окремих випадках — з гідросистемами високого тиску.

Засоби захисту працюючих на машинах контактного зварювання залежно від характеру впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.011.

Вибір і призначення засобів індивідуального захисту органів дихання під час контактного стикового зварювання оплавленням повинен провадитись відповідно до вимог ГОСТ 12.4.034.

Для захисту обличчя і очей зварника під час роботи на контактних машинах слід застосовувати захисні окуляри згідно з ГОСТ 12.4.013.

Для захисту від іскор і бризок розплавленого металу належить застосовувати спеціальний спецодяг і взуття згідно з ГОСТ 12.4.103.

Засоби захисту рук працюючого під контакту з поверхнями, що нагріваються, іскор і бризок розплавленого металу повинні відповідати ГОСТ 12.4.103.

Для захисту від шуму належить користуватись засобами індивідуального захисту згідно з ГОСТ 12.4.051.

г) Згідно ГОСТ 12.2.032-78. « СС. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг.

Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300мм, довжина не менше 400мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, щоб можна було зручно згинати та розгинати коліна.

Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій не порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підлокітниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння і спинки.

Монітор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленим від очей мінімум на 50-60см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або нижче на 15см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітору.

е) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил Сан Пин 2. 2. 2. 542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейні Мансуров, персональних електро-обчислюваних машин і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці та за створення небезпечного або шкідливого виробничого фактору для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними факторами є:

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність потужних іонізуючих випромінювань;
- локальне стомлення, загальне стомлення;
- стомлюваність очей;
- небезпека ураження електричним струмом;

- пожежонебезпека.

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності. Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

- Група А – робота з зчитування інформації з екрана комп'ютера за попереднім запитом;
- Група Б – робота з введення інформації;
- Група В – творча робота в режимі діалогу.

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, що займає не менше 50% часу протягом часу роботи комп'ютера. Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

для групи А – по сумарному числу прочитуються знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

для групи Б – по сумарному числу зчитуються або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 40000 знаків;

для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером. Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи з комп'ютером повинні встановлюватися регламентовані перерви.

Перед початком роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблокувальне покриття (крім групи А) з коефіцієнтом відображення не більше 0, 5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння і накопичення пилу. Корпус монітора повинен забезпечувати захист від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань.

Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними прорізами і столом повинно бути не менше 0, 8 м. Відстань між робочими столами повинна бути не менше 1, 2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої сторони.

7.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці:

є) Для нормалізації параметрів повітряного середовища в виробничих приміщеннях передбачається використовувати технічні засоби по забезпеченню нормованих параметрів. До них відноситься водяне або парове опалення, природна або штучна вентиляція. В холодний період року штучну вентиляцію, проточну витяжку поєднують з функцією підігріву зовнішнього повітря калорифер. В адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери.

Ефективним засобом нормалізації стану повітряного середовища у виробничих приміщеннях є вентиляція, що представляє собою комплекс пристроїв, що забезпечують повітрообмін, тобто видалення забрудненого (запиленого) нагрітого вологого повітря і подачу свіжого, чистого повітря, що відповідає нормативним вимогам.

За зоні дії вентиляція може бути загальнообмінної (що охоплює всі приміщення) та місцевої (в його обмеженої частини), а в залежності від способу переміщення повітря - природною і механічною.

Аерація - це природна вентиляція, при якій повітря надходить і видаляється через регульовані отвори в стінах, перекриттях, ліхтарях будівель.

При природній вентиляції повітрообмін відбувається внаслідок різної щільності неоднаково нагрітого повітря зовні і всередині приміщення і завдяки тиску вітру.

Стулки вікон постачають пристроями, що дозволяють відкривати, встановлювати в необхідному положенні і закривати їх з поверхні підлоги або робочих площадок приміщення. При використанні тиску вітру ефективність аерації зростає. Для цього споруджений будинок відповідним чином орієнтують щодо переважного напрямку вітру в даній місцевості.

При механічній вентиляції повітрообмін здійснюється за допомогою вентиляторів. У напрямку дії механічна вентиляція може бути припливною

(повітря нагнітається в приміщення), витяжний (повітря видаляється з нього) і припливно-витяжної, що забезпечує одночасно подачу повітря в приміщення і його видалення.

Забір зовнішнього повітря приточними системами вентиляції проводиться на висоті не менше 2 м від землі в місцях, не забруднених шкідливими речовинами. Вентиляція застосовується в поєднанні з технологічними заходами щодо зниження забруднення повітря. Джерела пилоутворення герметизують і підключають до системи витяжної вентиляції. Для попередження проникнення холодного повітря, в приміщення відкриваються ворота, двері або технологічні отвори обладнують повітряними або повітряно-тепловими завісами.

Розрахунок продуктивності природної вентиляції:

Площа цеху 900м^2 , висота 7м.

$$V = 900 \cdot 7 = 6300 \text{ м}^3;$$

$$L = k \cdot Vn = 2 \cdot 6300 = 12600 \text{ м}^3/\text{год};$$

Розрахунок об'єму повітря, що відсмоктується витяжним зонтом:

$$L = a \cdot b \cdot V \cdot 3600 = 0,38 \cdot 0,55 \cdot 1,5 \cdot 3600 = 1128,6 \text{ м}^3/\text{год};$$

Розрахунок об'єму повітря, що видаляється за допомогою витяжних кафів:

$$L = F \cdot V \cdot 3600 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$F = 7,3\text{м}^2; V = 0,5\text{м}/\text{с};$$

$$L = 7,3 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 13140 \text{ м}^3/\text{год};$$

ж) Незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

Більшість людей проводять на робочому місці більшу частину свого часу. При цьому основна частина роботи пов'язана з напруженою зоровою роботою. Тому дуже важливо забезпечити співробітникам комфортні для роботи умови, серед яких якісне освітлення є обов'язковим. Саме від нього залежить ефективність роботи співробітників, їх настроїв і безпеку.

Основне призначення освітлення в робочій зоні:

- забезпечити оптимальні умови роботи відповідно до норм і вимог;
- знизити стомлюваність органів зору;
- забезпечити безпеку співробітників;
- запобігання професійних захворювань;
- підвищення ефективності праці та якості роботи.

Для реалізації перерахованих вище умов, система освітлення на підприємстві повинна відповідати наступним вимогам:

Якісне та рівномірне освітлення робочої зони, яке відповідає діючим санітарним нормам санітарним нормам в Україні СНиП та новому стандарту освітлення - ISO 8995. Нерівномірне освітлення змушує органи зору адаптуватися до різної яскравості навколишніх предметів, що призводять до швидкого стомлення очей.

Оптимальна яскравість. Для зору людини однаково шкідливий як тьмяне світло, так і занадто яскравий. Це проявляється в різі в очах, частих головних болях, розладі зору. Тому необхідно правильно провести розрахунок і проектування освітлення, щоб отримати комфортну яскравість в приміщенні.

- освітленість на робочому місці повинна відповідати гігієнічним нормам. Збільшення освітленості робочої поверхні до певної межі поліпшує видимість об'єкту, збільшує швидкість розрізнення предметів і підвищує продуктивність праці;

- яскравість на робочій поверхні і в межах оточуючого простору повинна розподілятися по можливості рівномірно, оскільки перехід погляду з яскраво освітленої на слабо освітлену поверхню і навпаки викликає стомлення очей; Рівномірному розподілу яскравості сприяє світле забарвлення стелі, стін, устаткування.

- на робочій поверхні не повинно бути різких тіней, оскільки вони створюють нерівномірний розподіл яскравості, спотворюють форму і розміри об'єктів і викликають стомлення зору, а наявність жвавих тіней, крім того, сприяє виникненню травм;

- освітлення повинне забезпечувати необхідний спектральний склад світла для правильної передачі кольорів. Правильну передачу кольорів створює природне освітлення і штучні джерела світла із спектральною характеристикою, близькою до природного освітлення.

Природне освітлення — освітлення приміщень світлом неба (прямим або відображеним), проникаючим через світлові отвори в зовнішніх захищаючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найсприятливішим.

Природне освітлення може бути:

- бічним — через світлові отвори в зовнішніх стінах (вікна);
- верхнім — через світлові отвори в покритті і ліхтарі, а також через світлові отвори в місцях перепадів висот суміжних будівель;
- комбіноване — поєднання верхнього і бічного освітлення.

Штучне освітлення буває двох систем: загальне і комбіноване. Загальне освітлення — це освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або стосовно розташування устаткування (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення — це освітлення, при якому до загального освітлення додається місцеве. Місцеве освітлення — це додаткове до загального освітлення, створюване світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях (поверхнях).

Таким чином доцільно використовувати поєднання природного освітлення з системою загального рівномірного освітлення, яка складається з світильників типу РСП та люмінесцентних ламп ЛД-40-60 Вт.

7.4 Заходи з пожежної безпеки :

з) Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів. Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро

За вибухо-пожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А,Б,В,Г,Д.

Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежо-небезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незаймисті речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

Визначення класу пожежі.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);

- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;

- клас С – пожежі газів;
- клас D – пожежі металів та їх сплавів;
- клас E (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас E (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежо-небезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

Для виробничих приміщень правила розташування та вибору засобів пожежогасіння такі.

Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 м². До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2×2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; лом – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати місткість не менше 0,1 м³ та виключати потрапляння в нього опадів.

Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно з вогнегасною здатністю вогнегасників, граничної

площі,
 класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищаному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941–77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати:

20 м – для громадських будівель та споруд;

30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини);

40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д.

Для гасіння великих загорянь у приміщеннях категорій А, Б, В застосовують стаціонарні установки водяного, газового, хімічного та повітрянопінного гасіння.

7.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях:

і) Проведення заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи підприємств організацій і установ в умовах надзвичайних ситуацій - одна з основних задач цивільної захисту.

Під стійкістю роботи промислового об'єкта, безпосередньо виробляє якусь продукцію, розуміють його здатність в умовах надзвичайної ситуації випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а при отриманні слабких і середніх руйнувань або порушенні зв'язків по кооперації і поставкам відновлювати виробництво в мінімальні терміни.

Під стійкістю роботи об'єктів, безпосередньо не виготовляючих продукцію, розуміють їх здатність виконувати свої функції в умовах надзвичайної ситуації.

На стійкість роботи промислових об'єктів в умовах надзвичайної ситуації воєнного характеру впливають такі чинники: надійність захисту робітників і службовців від дії зброї масового ураження; здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти певною мірою вражаючих факторів ядерного вибуху; захищеність об'єкта від вторинних вражаючих факторів; надійність системи постачання об'єкта всім необхідним для виробництва продукції (сировиною, паливом, комплектуючими виробами, електроенергією, водою, газом і т. п.); стійкість і безперервність управління виробництвом та цивільним захистом; підготовленість об'єкта до ведення рятувальних і невідкладних аварійно-відновлювальних робіт та робіт з відновлення порушеного виробництва.

Перераховані фактори визначають і основні, загальні для всіх об'єктів, шляхи підвищення стійкості роботи у воєнний час, а саме:

- забезпечення надійного захисту робітників і службовців від вражаючих факторів зброї масового ураження;
- захист основних виробничих фондів від вражаючих факторів, в тому числі і від вторинних;
- підвищення надійності і оперативності управління виробництвом;
- забезпечення стійкості постачання всім необхідним для випуску запланованої на воєнний час продукції;
- підготовка до відновлення порушеного виробництва.

Підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах надзвичайної ситуації воєнного характеру, досягається:

- завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних і організаційних заходів, спрямованих на максимальне зниження впливу вражаючих факторів зброї масового ураження;
- створенням умов для швидкої ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Інженерно-технічні заходи включають комплекс робіт, що забезпечують підвищення стійкості виробничих будівель і споруд, верстатного і технологічного обладнання, комунально-енергетичних систем. Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості роботи об'єкта шляхом зміни технологічного процесу, що сприяє прискоренню виробництва продукції і виключає можливість утворення вторинних вражаючих факторів.

Організаційні заходи передбачають розробку і планування дій керівного складу, штабу, служб і формувань цивільного захисту при захисті робітників і службовців підприємств, проведенні рятувальних і невідкладних аварійно-відновлювальних робіт, відновлення виробництва, а також по випуску продукції на збережених потужностях.

ВИСНОВКИ

При виконання дипломної роботи було розглянуто основні переваги та недоліки порошкової металургії, а також особливості використання фільтрів. Також з'ясовано особливості процесів формування, пресування та спікання виробів з порошку.

Оскільки передбачається використання фільтрів в агресивних середовищах, то для їх виготовлення обрано титановий порошковий матеріал. Описано можливі дефекти, що виникають під час пресування заготовок та їх спікання, а також методи їх усунення.

Оскільки методи дослідження порошкових матеріалів дещо відрізняються від дослідження литих чи штампованих сплавів було визначено особливості проведення випробувань для пористих порошкових матеріалів.

Розглянуто технологію отримання пористих порошкових матеріалів з каркасною структурою на основі сферичних частинок порошку титану шляхом нанесення на них технологічних покриттів на Ti ($Si+Mo$), ($Si+C$) або ($W+C$). Формування порошків з покриттям здійснювали в прес-формі за тиску, нижчого за границю плинності (до 200 МПа). Реакційне спікання у вакуумній печі проводили за температури 900 °C з витримкою протягом 1 год, що дало змогу отримати коефіцієнт проникності понад $39 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$ з утворенням пористого порошкового матеріалу з ізотропною структурою і підвищеними властивостями.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. R.M. German. Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing, USA, 2005. 540 p.
2. Живов Л.И., Щербина В.В., Павлов В.А. и др. – «Крупногабаритные титановые фильтры». Информационный листок Запорожского филиала. УкрНИИТИ. 1972. № 12. 7 с.
3. Шатт, В. Порошковая металлургия. Спеченные композиционные материалы. В. Шатт. М.: Металлургия, 1983. 520 с.
4. Белов, С.В. Пористые проницаемые материалы. С.В. Белов. М.: Металлургия, 1987. 335 с.
5. Froes F. H., Eylon D. Powder metallurgy of titanium alloys – a review. In: Titanium Technology: Present Status and Future Trends, F. H. Froes, D. Eylon, H. B. Bomberger, eds., Titanium Development Association, 1985, pp. 49–59.
6. Abkowitz S., Abkowitz S. M., Weihrauch P. F., Wells M. G. H. Low cost PM manufacture of titanium alloy components for fatigue critical application. In: PM in Aerospace, Defense and Demanding Applications, F.H.Froes, ed., Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 1993, p. 241.
7. Moxson V. S., Senkov O. N., Froes F. H. Production and application of low cost titanium powder products. The International Journal of Powder Metallurgy. 1998, vol. 34 (5). Pp. 45–53.
8. Ivasishin O. M., Anokhin V. M., Demidik A. N., Savvakina D. G. Cost-Effective Blended Elemental Powder Metallurgy of Titanium Alloys for Transportation Application. Key Engineering Materials. 2000. v. 188. P. 55–62.
9. Miyazaki S., Kim H.Y., Hosoda H. Development and characterization of Ni-free Ti-based shape memory and superelastic alloys.

Materials Science and Engineering: A. 2006, Vol. 438–440. Pp 18–24.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.02.054>

10. Lewis G. Properties of open-cell porous metals and alloys for orthopaedic applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. Vol. 10 (24). Pp. 2293–2325. <https://doi.org/10.1007/s10856-013-4998-y>

11. Arensburger D.S.; Kopylova V.P.; Perepelkin A.V. Porous sintered titanium-base alloys. *Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 1972. Vol. 11 (1), pp. 38–41. <https://doi.org/10.1007/BF00802876>

12. Dendooven J.; Devloo-Casier K.; Ide M.; Grandfield K.; Kurttepel M.; Ludwig Karl F.d; Bals S.; Van Der Voort P.; Detavernier Ch. Atomic layer deposition-based tuning of the pore size in mesoporous thin films studied by in situ grazing incidence small angle X-ray scattering. *Nanoscale*. 2014. Vol. 6 (24). Pp. 14991 – 14998. <https://doi.org/10.1039/c4nr05049e>

13. Detavernier C., Dendooven J., Pulinthanu Sree S., Ludwig K.F., Martens J.A. Tailoring nanoporous materials by atomic layer deposition. *Chemical Society Reviews*. 2011. Vol. 40 (11), pp. 5242–5253. <https://doi.org/10.1039/c1cs15091j>

14. Dendooven J., Devloo-Casier K., Levrau E., Van Hove R., Pulinthanu Sree S., Baklanov M.R., Martens J.A., Detavernier C. In situ monitoring of atomic layer deposition in nanoporous thin films using ellipsometric porosimetry. *Langmuir*. 2012. Vol. 28 (8), pp. 3852–3859. <https://doi.org/10.1021/la300045z>