

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

А. І. Івлієв, Ю. О. Казмиренко, М. Ю. Комаров

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт з дисципліни "Теорія процесів
формування структури і властивостей порошкових
матеріалів"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2005

УДК 621.762 (076)

Івлів А.І., Казмиренко Ю.О., Комаров М.Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Теорія процесів формування структури і властивостей порошкових матеріалів". – Миколаїв: НУК, 2005. – 36 с.

Кафедра матеріалознавства і технології металів

Подано загальні теоретичні відомості та рекомендації щодо виконання лабораторних робіт, які пов'язані з процесами формування та методами дослідження структури та властивостей порошкових матеріалів.

Призначено для студентів спеціальності 8.090103 "Композиційні та порошкові матеріали, покриття".

Рецензент канд. техн. наук Г.В. Волков

© Видавництво НУК, 2005

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМ ТА РОЗМІРІВ ПОРОШКІВ

Мета роботи: дослідити розмір та форму порошоків за допомогою мікроскопічного методу дослідження та методів комп'ютерної металографії.

Загальні положення

Порошки характеризуються хімічними, фізичними та технологічними властивостями. Хімічний склад порошоків оцінюють за вмістом основного матеріалу, газів, домішків або забруднень. Технологічними властивостями порошоків є форма часток, розмір, питома поверхня, мікротвердість, пікнометрична та насипна щільність, текучість, пресувальність, формувальність.

Форма, розмір та стан поверхні часток порошоків. Форма є важливою характеристикою порошоків, яка суттєво впливає як на їх технологічні властивості (пресувальність, насипну щільність), так і на експлуатаційні властивості порошкових матеріалів (міцність, розмір пор, проникність).

Форма часток залежно від методу отримання порошку може бути: сферичною, округлою, краплеподібною, губчастою, дендритною, тарілчастою, осколочною, волокнистою, пелюсткоподібною. Фактор форми найбільш повно характеризує форму та розмір часток. Розрізняють такі види факторів форми:

фактор нерівноосності часток – відношення максимального та мінімального розмірів часток:

$$F_n = D_{\min} / D_{\max} ;$$

фактор розвиненості поверхні – відношення квадрату периметру досліджуваної частки до площі, яку вона займає:

$$F_p = P^2/S;$$

фактор форми Салтикова

$$F_c = 4\pi S/P^2.$$

Крім форми часток, на характеристики порошкових матеріалів суттєво впливає гранулометричний склад порошків. Залежно від розміру часток металеві порошки класифікують на ультратонкі (менші, ніж 0,5 мкм), дуже тонкі (0,5...10 мкм), тонкі (10...40 мкм), середньої тонкості (40...150 мкм) та грубі (150...1000 мкм).

Експериментальні дослідження доводять, що внаслідок зменшення дисперсності розміру часток порошків у більшості випадків забезпечуються більш стабільні фізико-механічні характеристики пористих матеріалів.

Частки порошків різняться не тільки формою, але й станом поверхні, який теж визначається технологією отримання часток та властивостями початкового матеріалу. Так, сферичні частки мають, як правило, гладку поверхню з округлими виступами або напливами у вигляді сферичних часток значно меншого розміру. Частки довільної форми, наприклад тарічасті або пелюсткоподібні, мають на поверхні більшу кількість виступів і впадин різної форми. Поверхня таких часток є значно шорсткою та практично не містить гладких ділянок.

Стан поверхні часток визначає не тільки формувальні властивості порошків, а й суттєво впливає на форму та геометрію пор, отже, і на формування структури всього порошкового матеріалу. Що складнішою є форма часток та більш нерівною є їх поверхня, то більшими будуть нерівномірність пор і кривизна поверхні, що значно впливає на експлуатаційні властивості матеріалу.

Дослідження форми та розмірів порошків за допомогою мікроскопічного аналізу. Мікроскопічний метод визначення фракційного складу порошків використовують як контроль надійності результатів, отриманих за допомогою інших методів. Точність цього методу ґрунтується на прямому вимірі розмірів досліджуваних часток порошків.

Одним із способів з використанням мікроскопії є дослідження моношару, який виготовляють при ретельному перемішуванні проби порошку, іноді за допомогою поверхнево-активних речовин.

Поряд із дослідженням моношару часток порошків також викори-

стовують метод дослідження мікрошліфів. Для їх отримання порошки спочатку змішують з самотверднучими сумішами (наприклад, бакелітом, полістиролом), а потім, після їх затвердіння, роблять зріз. Плоску поверхню з вкрапленнями часток порошку, яку зробили після зрізу, полірують. При цьому вимірюють усі частки, які потрапили в зону лінії розсікання. Вимірювання можна проводити у будь-якому обраному напрямку, але в одному і тому самому (рис. 1.1). Методика визначення величини часток регламентована ГОСТ 23402–78.

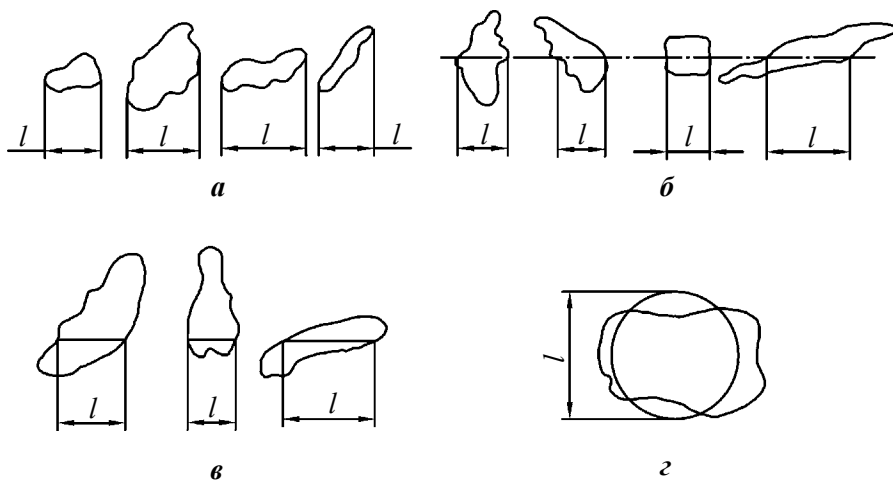


Рис. 1.1. Варіанти виміру статистичних діаметрів проекцій часток порошку: *a* – на відстані між дотичними до контуру зображення, що проведені паралельно один одному, та перпендикулярно напрямку виміру; *б* – по довжині хорди, що ділить площину проекції в заданому напрямі; *в* – по найбільшій довжині хорди в заданому напрямі; *г* – по діаметру кола, рівного проекції частки на площу спостереження

Дослідження форми та розмірів порошків за допомогою комп'ютерної металографії. Мікроскопічний метод визначення форми часток та обробка його результатів є дуже складною та трудомісткою роботою. Суттєво полегшує дослідження використання сучасних методів комп'ютерної металографії. Розробка такого методу проведена на кафедрі матеріалознавства та технології металів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Розроблено програмний комплекс "МЕГРАН", орієнтований на обробку та аналіз металографічних зображень, що отримані цифровими методами.

Комплекс програм пропонує автоматизацію розв'язання задач, які

пов'язані з такими операціями: ручною та автоматичною фільтрацією шумів (перешкод) на зображенні; розпізнаванням та класифікацією об'єктів на всьому зображенні або його частині; виконанням математичних розрахунків (визначенням розмірів, площ, факторів форми кожного з виділених об'єктів); статистичною обробкою отриманих результатів, побудовою гістограм розподілу об'єктів.

Основним критерієм, за яким здійснюється локалізація об'єктів, є яскравість об'єкту та його площа. Усі процедури обробки зображення використовують 256 градацій яскравості.

Прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: металографічні мікроскопи, комп'ютер, дослідні зразки з металевими, скляними, керамічними порошками та сумішшю з різних компонентів, альбом та база даних з фотографіями часток порошоків, допоміжні таблиці.

Порядок виконання роботи

1. Дослідити під мікроскопом та описати форму часток порошку, що пропонується викладачем.

2. Схематично зобразити частки кожного виду порошку.

3. За допомогою об'єкт-мікрометра визначити розміри досліджуваних часток порошоків. Визначити фактор форми порошоків. Отримані дані занести у табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Результати досліджень форми та розмірів часток порошку

№	Порошок	Форма часток	d_{\max}	d_{\min}	Фактор форми
1					
2					
3					


4. Проаналізувати особливості структури порошкового матеріалу з використанням методів комп'ютерної металографії. Для цього виконайте наступні дії:

відкрийте програму ADOBE PHOTOSHOP та вікно для роботи з відеокамерою (Файл > Імпорт > USB CAMERA);

за вказівками викладача створіть свою робочу папку;

сфотографуйте зображення мікроструктури дослідного матеріалу за допомогою web- камери та збережіть отриманий файл у своїй робочій папці у форматі растрового рисунку (*.BMP);

запустіть програму "МЕГРАН" та відкрийте в ній необхідний файл.

Використайте для цього кнопку  "Відкрити";

встановіть розмірну лінійку по межах зображення шліфа, задайте його розмір у мікронах (рис. 1.2) і натисніть кнопку ENTER;

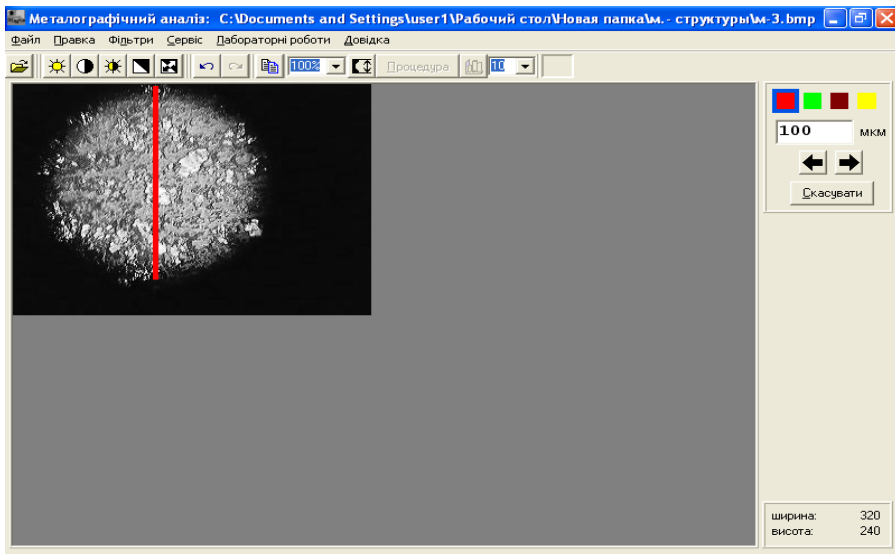



Рис. 1.2. Робочий аркуш програми "Мегран"

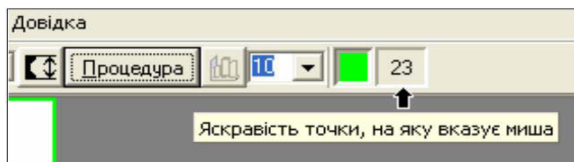
здійсніть обробку зображення шліфа відповідно до можливостей програми "МЕГРАН". Частиці повинні бути показані на екрані чорним кольором. За необхідності перетворіть подане зображення шліфа у негатив. Використайте для цього кнопку  "Негатив";


збережіть у своїй папці зображення негативу для подальшого його використання при оформленні звіту;


оберіть тип процедури для виконання (ПРОЦЕДУРА > АНАЛІЗ ФОРМИ І РОЗМІРІВ ЧАСТОК ПОРОШКУ);

визначте границі яскравості досліджуваних часток: вкажіть курсором на зображення частки та "натисніть" на неї. Після цього у вікні "Яскравість точки, на яку вказує миша" з'явиться значення яскравості цієї частки (рис. 1.3);


Рис. 1.3. Панель інструментів регулювання яскравості



повзунком встановіть визначений рівень яскравості часток; виконайте за допомогою кнопки  команду "Попередній перегляд";

якщо результат виділення часток із зображенням відповідає дійсності, то використанням кнопки  підтвердіть вибір границь яскравості, в іншому випадку за допомогою повзунка змініть границі яскравості і повторіть виконання двох останніх пунктів;

зверніть увагу на панель результатів у правій частині екрану: середні значення площі часток, їх розмірів, фактора форми (за методикою Салтикова);

викличте діаграму розподілу часток за площею, розміром та фактором форми використанням кнопки  (рис. 1.4);

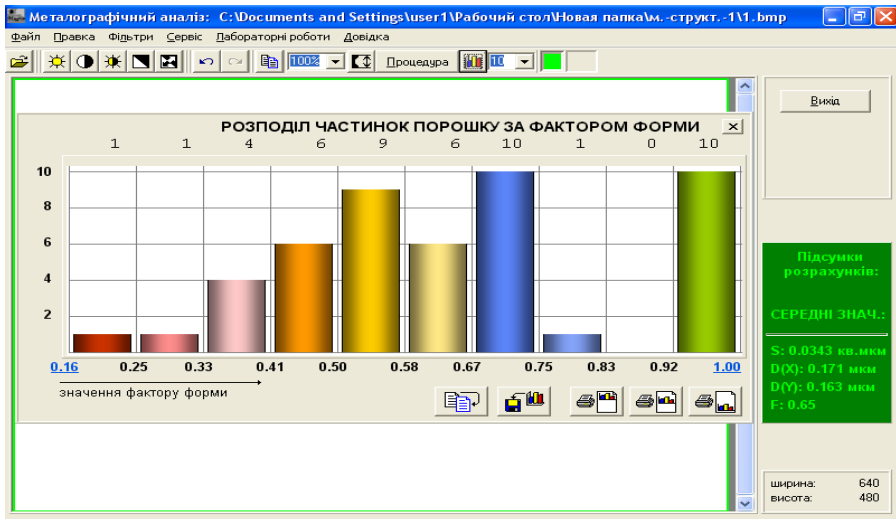



Рис. 1.4. Діаграма розподілу часток порошку за фактором форми

за допомогою кнопки  збережіть у своїй робочій папці всі розглянуті діаграми для подальшого їх використання та оформлення звіту.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.
2. Навести дані про основні властивості порошків, форму, розмір часток порошків та методи їх дослідження. Записати класифікацію порошків за формою часток.

3. Зарисувати частки порошоків різної форми матеріалів, що досліджуються в роботі, дати їм детальну характеристику.
4. Заповнити табл. 1.1.
5. Подати відповідну інформацію про особливості форми і розмірів часток, яку отримали за допомогою методів комп'ютерної металографії.

Контрольні питання та завдання

1. Назвіть та охарактеризуйте основні властивості порошоків.
2. Вкажіть, як класифікують порошки залежно від гранулометричного складу?
3. Назвіть класифікацію порошоків залежно від форми часток?
4. Що характеризує фактор форми часток порошку?
5. Поясніть, як використовують мікроскопічний аналіз для визначення форми та розмірів часток?
6. Назвіть особливості використання методів комп'ютерної металографії при дослідженні форми та розмірів порошоків.

Лабораторна робота № 2

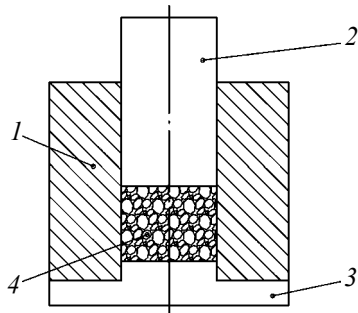
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТАТИЧНОГО ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКІВ

Мета роботи: дослідити особливості процесу статичного пресування порошоків; встановити вплив тиску пресування на розподіл щільності по об'єму пресовок.

Загальні положення

Пресуванням називається формування порошку в прес-формі під дією тиску. Для отримання заготовок та виробів заданих форм і розмірів порошкова шихта піддається пресуванню у прес-формах. Схема прес-форми найпростішої конструкції наведена на рис. 2.1.

Рис. 2.1. Схема прес-форми для пресування порошоків:
1 – матриця; 2 – верхній пуансон;
3 – нижній пуансон; 4 – порошок.



Процес статичного пресування здійснюється таким чином: порошок засипається в порожнину матриці, за допомогою пресу через пуансон до порошку прикладається певний тиск. У більшості випадків при цьому зростає щільність брикету (рис. 2.2).

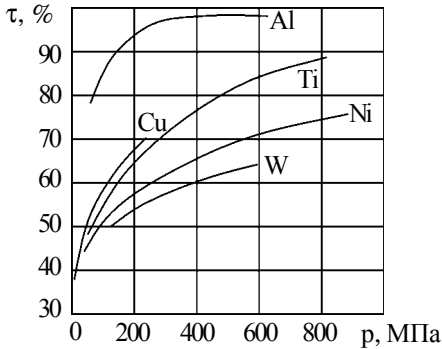


Рис. 2.2. Залежність відносної щільності порошкового тіла від тиску холодного пресування

Після зняття тиску виріб виймається з порожнини матриці. Ця операція здійснюється за допомогою або одного з пуансонів, або спеціальним виштовхувачем. Порошок під тиском пуансонів поводить деякою мірою подібно до рідини – він прагне розтікатися в сторони, що обумовлює виникнення тиску на стінки прес-форми. Це явище називають *бічним тиском*. Однак, на відміну від рідини, де розподіл тиску у всіх напрямках рівномірний, у порошку тиск розподіляється нерівномірно. У результаті тертя часток між собою, заклинювання й інших факторів, що ускладнюють переміщення часток у сторони, на бічні стінки прес-форми передається тиск значно менший, ніж у напрямку пресування.

У процесі пресування між зовнішнім шаром порошку й стінками прес-форми виникають сили тертя, величина яких зростає зі збільшенням тиску пресування.

Тертя порошку об стінки прес-форми приводить до появи значного перепаду тиску по висоті пресувального брикету. Найбільша величина тиску спостерігається безпосередньо поблизу торця пуансонів, і його значення поступово знижується в міру віддалення від пуансонів. Сили тертя виникають також і між поверхнями пуансона і брикету, що пресується. Нерівномірність у розподілі тиску призводить до нерівномірності ущільнення порошку в різних місцях брикету.

У процесі пресування частки порошку піддаються пружній та пластичній деформації, у результаті чого в брикеті накопичуються значні напруги. Після зняття тиску брикет прагне розширитися за рахунок цих напруг. У напрямку, перпендикулярному напрямку пресування, цьому розширенню перешкоджають стінки прес-форми. У напрямку пресування може мати місце часткове розширення, однак сили тертя між зовніш-

ньою поверхнею спресованого брикету та стінкою прес-форми перешкоджають повному розширенню та зняттю пружних напружень. Спресований брикет після зняття тиску міцно утримується в порожнині прес-форми.

У результаті цього для видалення брикету з прес-форми потрібно прикласти певний тиск, який називається тиском випресування (виштовхування). Пружні напруження, які накопичилися у брикеті в процесі пресування, після звільнення брикету з прес-форми призводять до його розширення як в напрямку пресування, так і в перпендикулярному напрямку.

У стані насипки між частками утворюються порожнини, що пов'язано з *арочним ефектом*. Після додавання тиску в першу чергу заповнюються ці порожнини, і частки переміщуються одна відносно іншої.

Після досягнення найбільш щільного укладання подальше ущільнення може проходити переважно за рахунок деформації часток, що спочатку локалізується в контактних ділянках, потім поступово поширюється вглиб часток.

Втрати тиску на зовнішнє тертя при відсутності змащення досягають 60...90 %, що обумовлює нерівномірний розподіл щільності по висоті пресованого брикету та змушує використовувати змащення. У загальному випадку втрати зусилля пресування на зовнішнє тертя повинні залежати від таких чинників: коефіцієнта тертя в парі "матеріал пресувального брикету – матеріал прес-форми"; схильності до схоплювання у цій парі; якості обробки стінок прес-форми; наявності змащення; висоти пресованого порошку; діаметру прес-форми.

Крім тертя порошку об стінки прес-форми при пресуванні певну роль відіграє тертя між частками порошку, яке відрізняється від зовнішнього тертя та має назву *внутрішнього тертя*. Коефіцієнт внутрішнього тертя порошоків у кілька разів вищий за коефіцієнт зовнішнього тертя, що обумовлено недосконалістю поверхні порошкових часток. У зв'язку із впливом зовнішнього і внутрішнього тертя осьовий тиск у пресувальному брикеті зменшується по висоті за експонентним законом. Усі ці обставини призводять до нерівномірного розподілу щільності у спресованих виробках (рис. 2.3).

Прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: пресувальний пристрій, прес-форма, лабораторні терези з гирями, пристосування для гідростатичного зважування, лабораторний посуд з дистильованою водою.

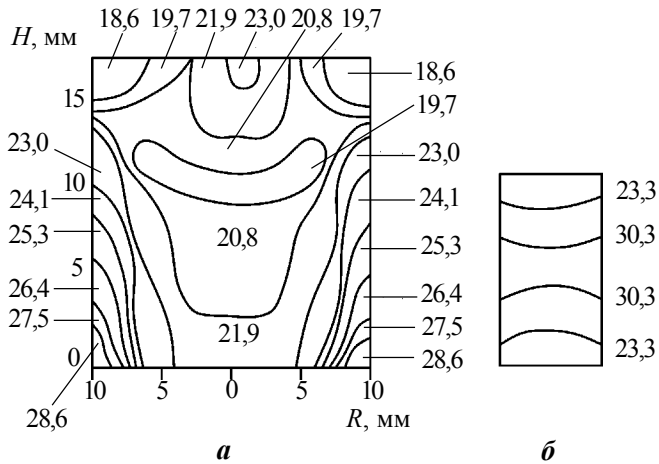


Рис. 2.3. Розподіл пористості по перетину циліндричної заготовки із порошку нікелю, яка отримана:
a – методом однобічного пресування; **б** – методом двобічного пресування

Порядок виконання роботи

1. За вказівками викладача вибрати порошок для пресування, визначити його масу.
2. Перевірити комплектність прес-форми та підготувати її до пресування.
3. Під керівництвом викладача виконати дозування навішення порошків.
4. Встановити прес-форму в пресувальний пристрій.
5. Зафіксувати вихідний стан на діаграмі ущільнення порошку.
6. Виконати пресування порошку, побудувати діаграму ущільнення.
7. Витягти спресований брикет з прес-форми.
8. Розрізати брикет на кілька зразків по висоті.
9. Зважити кожний зразок.
10. Кожний зразок просочити розплавленим парафіном, а потім покласти на фільтрувальний папір. Зважити їх на повітрі.
11. Помістити дослідні зразки в лабораторний посуд з дистильованою водою. Визначити масу зразків при зануренні у воду.
12. Визначити щільність зразків.
13. Заповнити табл. 2.1.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.

2. Записати сутність процесу статичного пресування, особливості розподілу щільності по об'єму пресовки, значення зовнішнього та внутрішнього тертя, пояснити сутність аrochenого ефекту.

3. Записати порядок проведення роботи.

4. Зарисувати схеми обладнання.

5. Заповнити табл. 2.1.

6. Оформити аналіз особливостей статичного пресування як висновки.

Таблиця 2.1. Значення та обробка експериментальних даних

Найменування параметрів	Одиниці виміру	Зразки			
		1	2	3	4
Маса на повітрі $m_{\text{п}}$	г				
Маса на повітрі з парафіном $m_{\text{п.п}}$	г				
Маса у воді з парафіном $m_{\text{в.п}}$	г				
Об'єм зразка $V = \frac{m_{\text{п.п}} - m_{\text{в.п}}}{\rho}$	см ³				
Щільність рідини ρ	г/см ³				
Щільність зразків $\gamma = m_{\text{п}}/V$	г/см ³				

Контрольні питання та завдання

1. Що таке пресування?
2. Як здійснюється статичне пресування?
3. Що називають аrochenим ефектом при пресуванні порошкових матеріалів?
4. Що називають бічним тиском порошку?
5. Що являє собою внутрішній тиск порошку?
6. Що характеризує коефіцієнт внутрішнього тертя?
7. Які фактори впливають на рівномірний розподіл щільності у спресованих матеріалах?

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПІКАННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості спікання кристалічних порошкових матеріалів на прикладі металевих порошків; набути навиків з підготовчих робіт щодо формування, дозування та аналізу процесів спікання; ознайомитись з основними процесами, які відбуваються при спіканні металевих порошків.

Загальні положення

Спікання – це термічно активований перехід системи порошкових часток, що контактують, до термодинамічно більш рівноважного стану шляхом зменшення площі вільної поверхні. Спікання порошкової суміші виконують за допомогою нагрівання та витримки при температурі нижчій за точку плавлення основного компонента з метою забезпечення заданих механічних і фізико-механічних властивостей. Це є однією з найважливіших технологічних операцій, результатом якої є перетворення неміцного порошкового тіла у міцно спечений виріб. Таке перетворення здійснюється внаслідок зміни характеру міжчасткових контактів.

Властивості матеріалу, такі як щільність, міцність, пористість, безпосередньо залежать як від властивостей початкових компонентів, так і від умов виготовлення матеріалу, а саме: тиску пресування, температури та середовища спікання, часу ізотермічної витримки та інших факторів. Розрізняють два основних різновиди спікання: твердофазне, тобто без створення рідкої фази, та рідкофазне, при якому нагрівання порошкової формовки проводять при температурі, що забезпечує наявність рідкої фази.

Основні процеси, які відбуваються при твердофазному спіканні металевих порошків. *Поверхнева та об'ємна дифузія атомів.* Більшість металів мають кристалічну будову, характерною особливістю якої є впорядкованість розташування атомів, що займають визначені місця у кристалічних ґратах. Для спікання металевих порошків характерний процес поверхневої та об'ємної дифузії.

Механізм поверхневої дифузії залежить від рухливості атомів та їх місця у кристалічних ґратах. Однією з важливих ознак спікання металевих порошків є зміцнення порошкового тіла без зменшення сумарного об'єму пор, що викликано поверхневою дифузією. Зменшення сумарного

об'єму пор при нагріванні можливо тільки при затіканні у них металу в результаті об'ємної самодифузії його атомів.

Усадка. У більшості випадків при спіканні металевих порошків мають місце усадочні процеси, які характеризуються зменшенням розмірів порошкового тіла в уздовжньому та поперечному напрямках. Процес усадки умовно можна поділити на три стадії, між якими немає чіткої межі. При спіканні кристалічних металевих порошків виділені наступні характерні процеси:

на першій (початковій) стадії щільність порошкового тіла є малою та швидкість ущільнення залежить від процесів, що відбуваються в зоні стічних порошків. Під дією поверхневого натягу в результаті об'ємної дифузії здійснюється заповнення пор металом, при цьому швидкість усадки є достатньо високою;

на проміжній стадії підвищується щільність матеріалу. Сукупність пор у порошковому тілі являє ансамбль пор, при цьому зменшення кожної з них відбувається фактично незалежно від інших. У випадку однорідної пористості ущільнення здійснюється рівномірно по всьому об'єму;

на останній стадії порошкове тіло містить у собі деякі ізольовані пори, які зменшуються в результаті об'ємної дифузії атомів. До зникнення пор може відбуватися процес їх зростання (коалесценція), коли дрібні пори поглинаються більшими та зникають, тоді як сумарний об'єм пор не змінюється.

У процесі спікання зменшується запас вільної енергії, що можливо тільки за рахунок скорочення сумарної поверхні, яка являє поверхню поділу між речовиною порошку та порами. Тому більш дисперсні порошки ущільнюються при нагріванні з більшою швидкістю, оскільки мають більший запас вільної енергії.

У деяких випадках при спіканні металевих порошків спостерігається порушення процесу усадки, що супроводжується зростанням розмірів формовки. Виділяють такі основні причини цього явища: зняття (релаксація) пружних напружень, що виникають при формуванні; наявність невідновних оксидів; фазові перетворення та виділення газів (адсорбованих на поверхні часток та які утворюються при хімічних реакціях відновлення оксидів). Зростання спечених тіл спостерігається при утворенні закритої пористості у випадку, коли загальна пористість складає близько 7 %. При цьому розширення газів перешкоджає ущільненню порошку при спіканні та викликає зростання брикету.

Рекристалізація. Зростання (рекристалізація) зерен є однією з важливих ознак при спіканні металевих порошків. Оскільки при цьому зника-

ють дрібні зерна, то зменшується сумарна поверхня розділу між частками. В ідеальному випадку через достатньо великий проміжок часу з конгломерату часток різного розміру утворюється монокристал. Однак на практиці зростання зерен продовжується до деякого їх середнього розміру, а не до утворення монокристалу. Це пов'язано з тим, що на границях зерен знаходяться побічні вкраплення, такі як пори, газові та оксидні плівки на поверхні часток порошку, домішки тощо. Збільшення розміру часток при невеликих температурах відбувається за рахунок рекристалізації на їх поверхні (поверхневої рекристалізації). З підвищенням температури рекристалізація розпочинається по всьому об'єму брикету і має назву міжчасткової збиральної рекристалізації. Як правило, спечені брикети характеризуються зернами невеликими за розмірами, однак в окремих випадках можна отримати крупнозернисту структуру.

Перенос атомів через газову фазу пов'язаний з процесом випаровування речовин з поверхні одних часток та їх конденсації на поверхні інших часток, що здійснюється при підвищенні температури. Що більше зігнута поверхня часток порошку, то легше випаровуються з неї атоми речовин. Перенос атомів через газову фазу робить пори більш округлими, а також підвищує міцність міжчасткового зачеплення. Однак, цей процес не впливає на зміну щільності брикету при його спіканні. Вплив переносу атомів через газову фазу на структуру та властивості порошкових матеріалів зростає при збільшенні температури, а також у результаті хімічних реакцій між порошковим тілом та газоподібною атмосферою печі.

Поряд з описаними явищами спостерігається дифузія по межах часток та пластична плинність матеріалу.

Вплив температури, тривалості та атмосфери спікання на формування структури порошкових матеріалів. При підвищенні температури зростають щільність та міцність спечених виробів. У звичайних випадках температура спікання знаходиться у межах $0,7...0,9 T_{пл}$ більш легкоплавкого компонента, що входить до складу матеріалу. Велике значення має швидкість підйому температури. Підвищення швидкості підйому температури у великогабаритних брикетах призводить до нерівномірності прогрівання його по висоті, а потім до викривлення форми виробу.

Ізотермічне спікання, яке являє витримку порошкового тіла при постійній температурі, викликає зростання щільності, яке потім уповільнюється. Максимальна міцність досягається за достатньо короткий час і потім не змінюється. Тривалість ізотермічної витримки продовжуєть-

ся від десятків хвилин до декількох годин. Температура та тривалість спікання деяких металевих порошків наведена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Температура та тривалість спікання металевих порошків

Матеріал	Температура спікання, °С	Тривалість спікання, хв
Залізо	700...1400	30...180
Мідь	500...950	43...150
Залізграфіт	700...1500	45...180
Корозійностійка сталь	1200...1300	60...90
Нікельграфіт	1150...1200	90...120
Ферит	1100...1400	60...180

На ефективність процесу спікання металевих порошків також впливає атмосфера. У відновлювальному середовищі щільність та міцність спечених матеріалів вищі порівняно зі спіканням цих самих порошків у нейтральному середовищі. Це пояснюється хімічною дією відновлювача на оксидні плівки, в результаті чого відбувається віддалення кисню та посилюється міграція атомів до контактних ділянок стічних часток порошку. Достатньо повно та швидко здійснюється спікання металевих порошків у вакуумі.

Найпростішим способом бездеформаційного формування порошкових матеріалів є вільне їх засипання у форми для подальшого спікання. У стадії вільної насипки окремі частки з'єднані в місцях контакту. Величина контактної поверхні є невеликою.

Доцільним є використання способу гарячого пресування, при цьому найбільш розповсюдженим є пресування нагрітого порошку в прес-формі. Гаряче пресування являє собою поєднання операцій формування заготовки з порошку з її нагріванням при температурі, яка відповідає $0,5...0,95 T_{пл}$ найбільш легкоплавкого компонента у складі матеріалу. Цей метод дозволяє реалізувати збільшення текучості пресувального матеріалу, що є ефективнішим при підвищених температурах. Тому найсуттєвішими результатами гарячого пресування слід вважати максимально швидке збільшення щільності порошкової формовки та отримання виробу з мінімальною пористістю при порівняно невеликих значеннях тиску пресування. Так, на рис. 3.1 наведені кінетичні криві ущільнення при спіканні у вільному стані та з використанням гарячого пресування на прикладі спікання порошків берилію.

Важливе значення мають також способи прикладання та зняття на-

вантаження. Більш доцільним є нагрівання порошкового тіла до температури (у звичайних випадках до половини температури спікання), а потім прикладання зусиль. Знімати навантаження слід лише після повного охолодження спеченого виробу, що зменшує втрату щільності через проявлення пружної післядії.

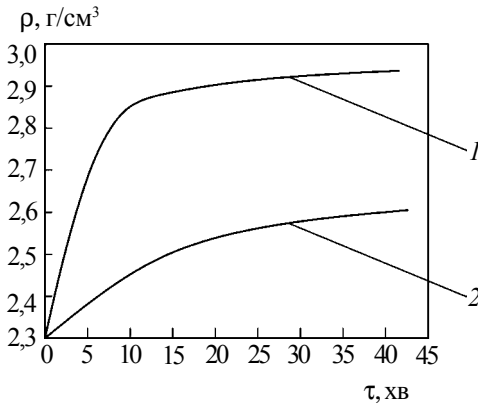


Рис. 3.1. Кінетичні криві ущільнення порошків берилію:

1 – з використанням гарячого пресування: $T_{\text{сп}} = 1600 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_{\text{пр}} = 14 \text{ МПа}$; 2 – у вільному стані при $T_{\text{сп}} = 1600 \text{ }^\circ\text{C}$

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: електропіч лабораторна, прес-форма або форма для спікання, металеві порошки (наприклад, порошки олова, бронзи, бабіту), терези з гирями.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати прес-форму для дозування та спікання (див. додаток А).
2. Під керівництвом викладача виконати дозування та формування навішення металевих порошків.
3. За вказівками викладача вибрати режими спікання. Розташувати прес-форму у робочому просторі печі, задати режими спікання.
4. Після досягнення температури спікання встановити час ізотермічної витримки. Після закінчення процесу ізотермічної витримки піч відключити. Отриманий зразок слід вилучити після повного охолодження робочого простору печі.
5. Оформити аналіз особливостей спікання металевих порошків як висновки.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.
2. Записати сутність процесу спікання. Навести дані про основні про-

цеси, які відбуваються при спіканні металевих порошкових матеріалів, та особливості формування структури порошкових матеріалів при спіканні кристалічних металевих порошоків.

3. Записати порядок проведення роботи.
4. Заповнити таблицю з експериментальними даними (додаток Б).
5. Визначити лінійну та об'ємну усадку при спіканні металевих порошоків.
6. Оформити аналіз особливостей спікання металевих порошоків та усадочних процесів як висновки.

Контрольні питання та завдання

1. Сформулюйте суть і призначення процесу спікання.
2. Вкажіть, у чому полягають механізми поверхневої та об'ємної дифузії при твердофазному спіканні металевих порошоків?
3. Назвіть особливості усадочних процесів при спіканні металевих кристалічних порошоків. У яких випадках спостерігається зростання брикету?
4. Зазначте особливості процесу рекристалізації зерен при спіканні металевих порошоків.
5. Поясніть особливості формування структури порошкових матеріалів при твердофазному спіканні металевих порошоків.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТВЕРДОФАЗНОГО СПІКАННЯ ОДНОКОМПОНЕНТНИХ АМОРФНИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості твердофазного спікання однокомпонентних аморфних матеріалів на прикладі скляних порошоків; закріпити навички з підготовчих робіт формування порошку.

Загальні положення

Особливості спікання аморфних матеріалів. Існує принципова відмінність між механізмом спікання кристалічних та аморфних матеріалів.

Аморфні матеріали – некристалічне тіло, в якому відсутній дальній порядок у розташуванні атомів. Аморфні порошкові матеріали використовуються для виготовлення магнітних екранів, трансформаторів, сер-

дечників реле, магнітних підсилювачів. До аморфних порошкових матеріалів відносяться порошки деяких сплавів, а також скла і полімерів, які використовуються, наприклад, при виготовленні антифрикційних матеріалів та покриттів.

Більшість аморфних матеріалів отримують швидким (зі швидкістю $10^5 \dots 10^6$ К/с) охолодженням розплавів і мають склад, близький до евтектичного. Найбільш перспективними способами отримання "металевого скла" є метод вакуумного напilenня, плазмове розпилення, електролітичне та хімічне осадження.

Усі аморфні матеріали характеризуються інтервалом температур, у якому різко починають змінюватись усі властивості, в першу чергу в'язкість. Цей інтервал має назву "інтервал склування" або "аномальний" і обмежений двома температурами (рис. 4.1) – температурою склування (T_g) та температурою розм'якшення (T_f). Для кожного аморфного компонента він є особливою характеристикою та визначається експериментально. При досягненні температури, близької до температури склування, створюється рідкоподібна в'язка течія.

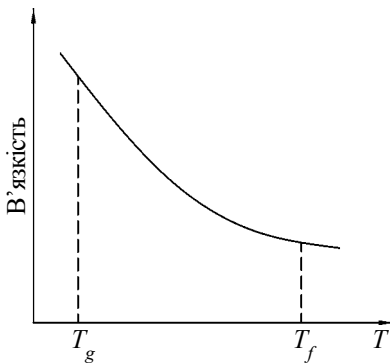


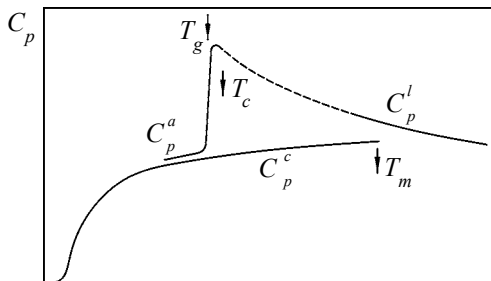
Рис. 4.1. Крива зміни в'язкості для аморфного матеріалу

Однак аморфні матеріали є нестабільними, деякі з них при специфічних умовах можуть кристалізуватися. Кристалізація порушує нормальні умови формування необхідної структури, оскільки є джерелом дефектів. Кристалізаційні властивості аморфних матеріалів також обмежені, з одного боку, температурою T_c , за якої здійснюється швидка кристалізація при нагріванні з визначеною швидкістю, та з другого боку – температурою плавлення кристалу T_m (рис. 4.2).

Нижче та вище цих температур матеріал не кристалізується, у цьому проміжку міститься небезпечний інтервал кристалізації. Тому, щоб отримати необхідну бездефектну структуру без наявності кристалів,

спікання порошків аморфних матеріалів слід здійснювати тільки в інтервалі склування. Значення температур склування та кристалізації деяких аморфних сплавів наведені в табл. 4.1.

Рис. 4.2. Схематичне зображення зв'язку між теплоємністю кристалу C_p^c , твердою аморфною фазою C_p^a та розплаву C_p^l (T_m – точка плавлення кристалу; T_g – температура склування; T_c – температура, за якої здійснюється швидка кристалізація при нагріванні з визначеною швидкістю)



Таблиця 4.1. Значення температур склування та кристалізації аморфних сплавів, К

Сплав	Температура евтектики основного компоненту T_E	Температура плавлення основного компоненту T_m	Температура склування, T_g	Температура кристалізації T_s
Au ₃₁ Si ₁₉	636	1336	290	280
Pb ₈₃ Si ₁₇	1070	1825	632	635
Ni ₈₀ P ₂₀	1150	1726	620	600
Pt ₈₀ P ₂₀	860	2040	485	483

Відомо, що спікання здійснюється під дією сил поверхневого натягу. Особливість спікання однокомпонентних аморфних порошків полягає в тому, що всі компоненти порошкового тіла мають однаковий інтервал склування. Тобто процес їх розм'якшення починається одночасно. Важливу роль відіграє неоднорідність розподілу хімічних елементів по поверхні часток порошку. Так, при нагріванні спочатку відбувається розм'якшення найбільш легкоплавкого компонента у складі аморфного порошку, який має найнижчу температуру склування. Поверхня частки набуває склоподібних властивостей. По мірі нагрівання процес розм'якшення розвивається, кількість рідкої фази збільшується. З моменту розм'якшення зменшується пористість, що викликано зміною в'язкості порошкової формовки.

При формуванні структури і властивостей матеріалів у процесі виго-

товлення виробів методом порошкової металургії необхідно забезпечити такі умови їх отримання, при яких не буде здійснюватися процес кристалізації. Також через порушення аморфного стану внаслідок кристалізації, аморфні порошкові матеріали не можуть бути використаними при високих температурах експлуатації.

Однак, у деяких випадках використання аморфних закристалізованих матеріалів стає корисним. Так, наприклад, кристалізація позитивно впливає на антифрикційні властивості металоскляних порошкових матеріалів, що використовують при експлуатації в агресивному середовищі, а також на закристалізовані частки порошоків скла, які утворюються після спікання порошкової шихти визначеного складу при температурах 800...1060 °С в атмосфері водню, аргону або азоту.

Зважаючи на те, що скляні порошкові матеріали є найбільш розповсюдженим різновидом аморфних матеріалів та широко використовуються при отриманні теплоізоляційних, антифрикційних і захисних матеріалів та покриттів, експериментальна частина цієї роботи буде проведена за допомогою саме склопорошків.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: електроніч лабораторна, прес-форма або форма для спікання порошоків, скляний порошок, терези з гирями.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати прес-форму до дозування та спікання (див. додаток А).
2. За вказівками викладача виконати дозування та формування навішення скляного порошку.
3. Під керівництвом викладача вибрати режим спікання. Розташувати прес-форму у робочому просторі печі, задати режими спікання.
4. Після досягнення температури спікання встановити час ізотермічної витримки. Після закінчення спікання піч відключити. Отриманий зразок дістати після повного остигання робочого простору печі.
5. З використанням альбому фотографій мікроструктур зразків матеріалу, отриманих на різних стадіях спікання, проаналізувати характер контакту між частками порошку.
6. Аналіз особливостей спікання скляних порошоків оформити як висновки.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.
2. Записати сутність спікання аморфних матеріалів.

3. Накреслити схеми приладів та установок.
4. Записати порядок проведення роботи.
5. Заповнити таблицю з експериментальними даними (додаток Б).
6. Визначити об'ємну та лінійну усадку при спіканні скляних порошків.
7. Зробити висновки, в яких проаналізувати особливості спікання скляних порошків та усадочні процеси. На прикладі отриманих в попередніх роботах даних визначити відміни процесів спікання металевих (кристалічних) та скляних (аморфних) порошків.

Контрольні питання та завдання

1. Що являють собою аморфні матеріали?
2. Які порошкові матеріали відносяться до аморфних?
3. Назвіть області застосування аморфних порошкових матеріалів.
4. Охарактеризуйте інтервали склування та кристалізації аморфних матеріалів.
5. Опишіть особливості процесу спікання аморфних порошкових матеріалів.

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПІКАННЯ СУМІШЕЙ МЕТАЛЕВИХ І СКЛЯНИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості формування структури порошкових композиційних матеріалів при спіканні різнокомпонентних порошків з кристалічною та аморфною структурою на прикладі металевих і скляних порошкових матеріалів.

Загальні положення

Матеріали, які створені за допомогою методів порошкової металургії із сумішей різнокомпонентних порошків, отримали назву композиційних порошкових матеріалів. Їх різновиди широко використовуються як електроконтактні, антифрикційні, ущільнювальні, зносостійкі у різних галузях електротехніки, хімічної промисловості, судно- та машинобудуванні.

До композиційних порошкових матеріалів, які отримують із сумішей різних за складом порошків, відносяться металографітні, металоскляні, металополімерні та інші матеріали. Тому дослідження процесів, які відбуваються при їх отриманні, є важливою задачею.

Виготовлення сумішей з різнокомпонентних порошків. Процес виготовлення суміші складається із класифікації порошків за розміром часток, змішування та попередньої обробки.

Змішування – це виготовлення однорідної механічної суміші із порошків різного хімічного та гранулометричного складу або суміші металевих порошків із неметалевими. Це є однією із найважливіших операцій при отриманні порошкового матеріалу. Від однорідності суміші, що виготовляється, залежать кінцеві властивості виробу. Тому найважливішою задачею є забезпечення однорідності суміші.

Використовують механічне змішування компонентів у кульових млинах, а також у змішувачах. Рівномірний розподіл часток порошку в об'ємі суміші досягається при використанні порошків з близькими значеннями щільності. При значній різниці у щільності має місце явище сеграції, тобто розшарування компонентів. Змішування компонентів різної щільності часто здійснюють у рідкому середовищі (спирті, гліцерині, бензині). Однак, це не завжди економічно корисно, оскільки значно ускладнює технологічний процес.

На процес формування різнокомпонентних порошків впливають властивості порошків: текучість та постійна насипна щільність. Незалежно від способу дозування при заповненні прес-форми необхідно забезпечити у ній рівномірний розподіл порошку. Це досягається через використання вібрації або спеціальних розрівнювачів.

У більшості випадків до металевих порошків додають технологічні присадки, які полегшують процес пресування та отримання заготовок високої якості; легкоплавкі добавки, що поліпшують процес спікання; а також інші металеві порошки для легування та отримання нових порошкових матеріалів. Тому часто спікання суміші порошків супроводжується виникненням рідкої фази.

Особливості рідкофазного спікання. *Рідкофазне спікання* порошкової суміші характеризується наявністю рідкої фази, яка утворюється за рахунок розплавлення більш легкоплавкого компонента або структурної складової у процесі нагрівання порошкової формовки. При цьому рідиною змочуються частки порошку, які залишаються твердими, що сприяє полегшенню розвитку сил зчеплення між ними. Це призводить до збільшення швидкості дифузії атомів та полегшує переміщення часток однієї відносно іншої, сприяє заповненню пор розплавленою речовиною. Однак, у випадку недостатнього змочування (крайовий кут змочування більший за 90°) рідка фаза сповільнює процес спікання та перешкоджає

ущільненню формовки. При використанні рідкофазного спікання можна отримати безпористі матеріали та композиції, оскільки ступінь ущільнення порошків значно більший, порівняно з твердофазним спіканням.

Розрізняють три основні стадії рідкофазного спікання: перегрупування твердих часток під дією течії рідини; процеси розчинення – осадження; утворення жорсткого скелета з твердих часток у результаті їх припікання (твердофазне спікання). Спочатку процес усадки здійснюється більш інтенсивно, а потім його швидкість сповільнюється. Залежно від виду металевих компонентів, що спікаються, кількості рідини, розміру твердих часток та початкової пористості порошкової формовки одна зі стадій стає переважною. Самі стадії накладаються одна на іншу.

Порошкові компоненти, які створюють суміш, можуть бути як взаємонерозчинні, так і взаєморозчинні, отже, існують різні механізми формування структури при їх спіканні. Схематичне зображення етапів припікання взаємонерозчинних та взаєморозчинних порошкових компонентів наведено відповідно на рис. 5.1 та 5.2.

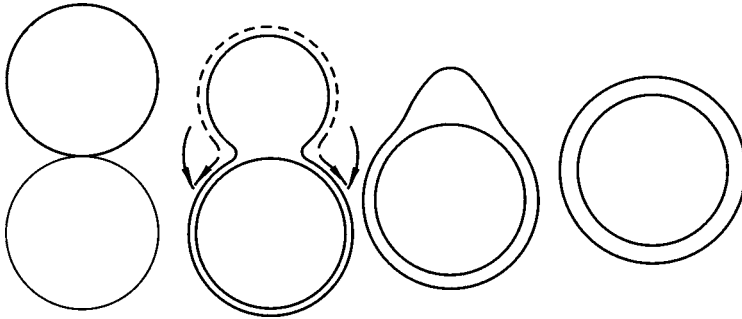


Рис. 5.1. Схематичне зображення етапів припікання різних часток взаємонерозчинних речовин

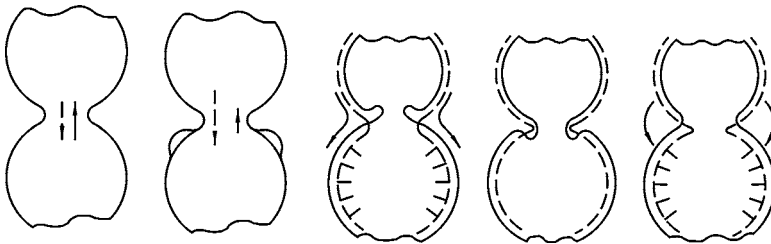


Рис. 5.2. Схематичне зображення етапів припікання різних часток взаєморозчинних речовин

Рідка фаза у деяких випадках присутня до кінця ізотермічної витримки. Однак, вона може зникати через деякий час після її появи. В останньому випадку рідка фаза розчиняється у твердій або утворює більш тугоплавке з'єднання. Тоді останній період процесу являє твердофазне спікання. Найбільш характерними прикладами спікання зі зникненням рідкої фази є виробництво залізонікельалюмінієвих магнітів, бронзових і бронзографітових антифрикційних матеріалів. У будь-якому з випадків кількість рідкої фази, яка утворюється у процесі спікання, повинна бути від 3...5 до 50 % по об'єму (оптимальним є варіант 25...30 %). Коли кількість рідкої фази досягає 50 %, є можливість втрати форми виробу, отриманої в результаті формування порошку. Однак недостатня кількість рідкої фази не має усіх переваг використання цього виду спікання.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: електропіч лабораторна, прес-форма або форма для спікання, скляні та металеві порошки, терези з гирями.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати прес-форму для дозування та спікання (див. додаток А).
2. За вказівками викладача виконати дозування та формування навішення суміші металевих і скляних порошків.
3. Під керівництвом викладача вибрати режими спікання. Розташувати прес-форму у робочому просторі печі, задати режими спікання.
4. Після досягнення температури спікання встановити час ізотермічної витримки. Після закінчення процесу спікання піч відключити. Отриманий зразок дістати після повного остигання робочого простору печі.
5. Аналіз особливостей спікання суміші металевих і скляних порошків оформити як висновки.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.
2. Записати основні вимоги виготовлення сумішею порошків, суть та особливості рідкофазного спікання порошкової суміші.
3. Записати порядок проведення роботи.
4. Заповнити таблицю з експериментальними даними (додаток Б).
5. Визначити лінійну та об'ємну усадку при спіканні суміші з металевих і скляних порошків.
6. Аналіз особливостей спікання суміші з металевих і скляних порошків та усадочні процеси оформити як висновки.

Контрольні питання та завдання

1. Що таке змішування? Поясніть, які фактори впливають на однорідність порошкової суміші, що виготовляється.
2. Наведіть приклади та області застосування композиційних порошкових матеріалів.
3. Опишіть механізм рідкофазного спікання порошків.
4. Вкажіть, у чому полягають особливості формування структури при рідкофазному спіканні порошків на відміну від твердофазного?
5. Поясніть особливості формування структури при спіканні суміші з металевих і скляних порошків на відміну від процесу спікання окремо металевих та окремо скляних порошків?

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ ПОРОШКОВИХ І КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості структури порошкових і композиційних матеріалів; провести дослідження пористості та розмірів часток зразків порошкових і композиційних матеріалів за допомогою методів комп'ютерної металографії.

Загальні положення

Дефекти мікроструктури порошкових і композиційних порошкових матеріалів. За своєю структурою порошкові і композиційні матеріали є неоднорідними. Ступінь неоднорідності структури залежить від умов її отримання, у тому числі від величини та характеру прикладання тиску пресування, температури та середовища спікання порошків, величини та характеру прикладання тиску пресування та часу ізотермічної витримки. Також ступінь неоднорідності структури залежить від дефектів, що створюються у процесі отримання, пресування або спікання порошків.

Дефектами вважаються порушення структури, які знижують фізико-механічні або експлуатаційні характеристики, встановлені відповідними нормативними документами. На якість виробу впливають, як правило, дефекти, що пов'язані з недосконалістю технології виготовлення конкретних деталей. Такими видами дефектів можуть бути рихлість, неспеченість, порушення необхідних геометричних розмірів, низька щільність. Причинами таких дефектів є нерівномірний розподіл часток порошку в брикеті, недостатній тиск пресування, неправильне прикладан-

ня або зняття тиску пресування, дефекти або пошкодження прес-форми, механічні удари при розпресуванні, нерівномірність температурного поля печі, підвищення швидкості нагрівання, різке остигання брикету тощо. Усі ці види дефектів можна оцінити за допомогою візуальних методів контролю або через мікроструктурні дослідження.

Мікроструктурні методи дослідження порошкових і композиційних матеріалів. Дослідження мікроструктури порошкових і композиційних матеріалів є важливим етапом дослідницької діяльності як при розробці та удосконаленні технологій їх отримання, так і при вивченні процесів формування структури і властивостей.

Дослідження мікроструктури зразків здійснюють за допомогою відомих методів металографії. При цьому дефекти, пори, неметалеві вкраплення розглядаються детальніше, ніж при візуальному огляді. Мікроскопічним аналізом виявляють форми та розміри зерен, які утворюються після спікання порошоків, процеси рекристалізації під час спікання, площадки контакту між частками порошку на різних етапах пресування або спікання, а також форму та розмір пор. Мікроскопічний аналіз допомагає визначити кількісний та якісний характер змін у структурі, які здійснюються у процесі спікання, а також виявити та спрогнозувати властивості отриманих порошкових матеріалів.

При дослідженні металевих порошкових матеріалів використовують мікрошліфи, які отримують за допомогою стандартних технологій. Структуру порошкових і композиційних матеріалів з підвищеною пористістю досліджують з використанням зломів.

Реалізація високоякісного металографічного аналізу пов'язана з відомими труднощами, що зумовлені великим фізичним навантаженням на організм дослідника, суб'єктивністю спостережень та невеликою швидкістю процесу дослідження. Застосування обладнання, принцип дії якого заснований на лінійній механічній розгортці оптичних об'єктів, вносить свої обмеження на інтерпретацію інформації. Тому найбільш перспективними методами мікроструктурних досліджень є нові комп'ютерні методи металографії. При цьому металографічні зображення одержуються різноманітними шляхами: через сканування фотографій, застосування відеозахоплювачів. Металографічні зображення можуть бути представлені комбінацією структурних складових при різному співвідношенні: фазами, які характеризуються різноманітними розмірами, формою та кольором, а також межами зерен, що можуть бути представлені окремими лініями на зображенні або покривати зображення безперервною сіткою. Аналіз зображення проводиться з метою визначення наступних пара-

метрів об'єктів: середня яскравість, периметр, площа, мінімальний діаметр, напрямок мінімального діаметру, максимальний діаметр, напрямок максимального діаметру, форм-фактор, коефіцієнт форми. Кінцевою задачею металографічного аналізу слід вважати статистичну обробку отриманих у процесі вимірювання характеристик об'єктів для визначення середніх значень цих величин, а також побудови графічних залежностей для візуалізації процесу аналізу.

Дослідження пористості порошкових і композиційних матеріалів. *Пористість* – одна з основних характеристик порошкових і композиційних матеріалів, яка безпосередньо впливає на їх експлуатаційні властивості. Саме за допомогою перспективних технологій порошкової металургії можна отримати матеріали з поєднанням різних властивостей, які не можливо створити за допомогою інших методів. Але порошкові і композиційні матеріали володіють пористою структурою, яка, в свою чергу, регулюється при варіюванні технологічних параметрів. Пористість суттєво формує експлуатаційні властивості порошкових матеріалів.

У структурі порошкового тіла пори являють собою порожнини, розподіл яких за об'ємом може бути як рівноважним, так і нерівноважним. У свою чергу структура такого матеріалу може бути відкритопористою та закритопористою. Пористість негативно впливає на міцність порошкових матеріалів. Однак значення характеру пористої структури визначається можливостями його використання. Матеріали, які застосовуються як фільтри, тепло- та звукоізолятори, повинні характеризуватися переважно відкритою пористістю, що, однак, негативно впливає на їх міцність.

Розрізняють наступні методи визначення пористості порошкових і композиційних матеріалів: мікроструктурні методи дослідження; методи неруйнівного контролю; пікнометричний метод (за допомогою пентапікнометру). Метод оснований на просочуванні інертними газами (аргоном, гелієм) пористого середовища зразків; методи насичування рідиною зразків (з використанням дистильованої води, гасу). Останні два методи використовують для визначення відкритої пористості порошкових і композиційних матеріалів.

На формування структури порошкового матеріалу з конкретним видом пористості впливають такі фактори: гранулометричний склад та форма початкових порошоків; способи пресування; температура та атмосфера спікання; процеси, що супроводжують спікання порошкових матеріалів.

Прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: металографічний мікроскоп, комп'ютер, дослідні зразки (у тому числі й отримані у попередніх роботах), фотоальбом з мікроструктурами, терези з гирями, штангенциркуль.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою штангенциркуля провести вимірювання габаритних розмірів спробних зразків, які отримані у попередніх роботах. Результати занести до протоколу (додаток Б).

2. З використанням лабораторних терезів визначити масу отриманих зразків з точністю до 0,01 г. Визначити щільність зразків. Результати занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Результати дослідження характеристик порошкових матеріалів

№	Порошковий матеріал	Об'єм V , м ³	Маса m , г	Щільність ρ , г/см ³	Пористість, %	Розмір часток порошку, мкм

3. Зробити огляд мікроструктури отриманих зразків; порівняти їх з мікроструктурами, які зображені у фотоальбомі.

4. За допомогою методів комп'ютерної металографії дослідити пористість спробних зразків. Для цього виконайте наступні дії:

запустити на виконання програму ADOBE PHOTOSHOP та відкрийте вікно для роботи з відеокамерою (Файл > Імпорт > USB CAMERA); за вказівками викладача створить свою робочу папку;

сфотографуйте зображення мікроструктури дослідного матеріалу за допомогою web- камери та збережіть отриманий файл у своїй робочій папці у форматі растрового рисунку (*.BMP);

запустити програму "МЕГРАН" та відкрийте в ній необхідний файл. Використайте для цього кнопку "Відкрити";


встановіть розмірну лінійку по межах зображення шліфа, задайте його розмір у мікронах (рис. 1.2) і натисніть кнопку ENTER;


оберіть тип процедури (ПРОЦЕДУРА > ВИЗНАЧЕННЯ ПОРИСТОСТІ МАТЕРІАЛУ > З ПІДБОРОМ ЯСКРАВОСТІ ПОР);

визначте границі яскравості пор, які досліджуються: вкажіть курсором на зображення пори. Після "натиснення" на пору у вікні "Яскра-


вість точки, на яку вказує миша" з'явиться значення яскравості цієї пори (рис. 1.3);

за допомогою повзунка встановить попередньо визначений півень яскравості пор (рис. 1.3);

виконайте за допомогою кнопки  команду "Попередній перегляд";

використанням кнопки  підтвердить вибір границь яскравості, у протилежному випадку за допомогою повзунка змінить границі яскравості і повторить виконання двох останніх пунктів;

зверніть увагу на панель результатів у правій частині екрану: середні значення площі пор, їх розмірів, фактора форми (за методикою Салтикова);

викличте за допомогою кнопки  діаграми розподілу пор по площі, розміру, фактору форми (рис. 6.1);

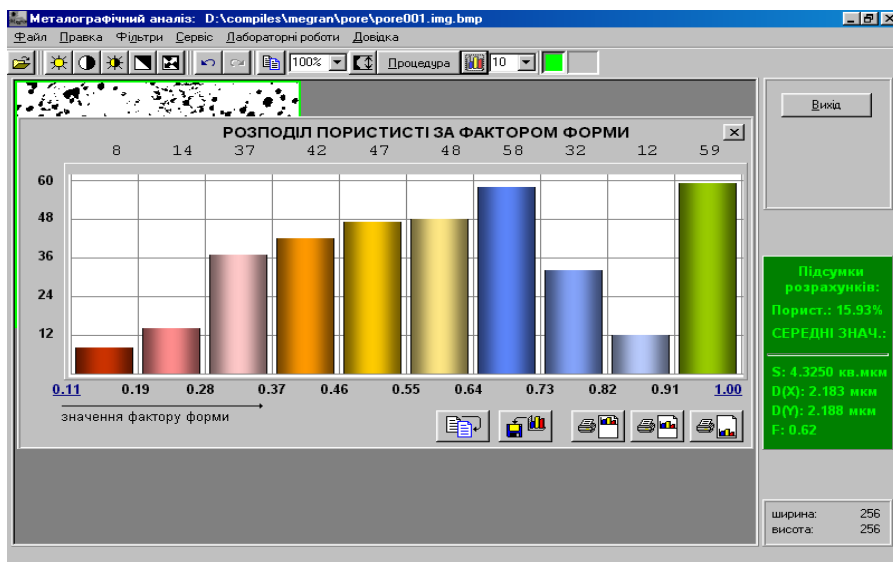



Рис. 6.1. Діаграма розподілу пор за фактором форми

за допомогою кнопки  збережіть у своїй робочій папці всі розглянуті діаграми для подальшого їх використання та оформлення звіту.

Порядок оформлення звіту

1. Сформулювати мету роботи.
2. Навести дані про особливості мікроструктурних досліджень по-

рихтих порошкових і композиційних матеріалів, вплив пористості на структуру цих матеріалів та методи її визначення.

3. Занести до протоколу (додаток Б) результати вимірювань спробних зразків та заповнити табл. 6.1.

4. Зарисувати або надрукувати на комп'ютері мікроструктури порошкових і композиційних матеріалів та розрахункові дані, які отримані за допомогою методів комп'ютерної металографії.

5. Вказати розмір пористості спробних зразків.

6. Аналіз розподілу закритої та відкритої пористості різних матеріалів оформити як висновки.

Контрольні питання та завдання

1. Що являє собою структура порошкових і композиційних матеріалів? Які види дефектів є характерними саме для порошкових матеріалів?

2. Назвіть і охарактеризуйте особливості мікроструктури порошкових матеріалів.

3. Сформулюйте суть та призначення мікроструктурних досліджень порошкових і композиційних матеріалів?

4. Назвіть основні можливості методів комп'ютерної металографії при дослідженні мікроструктур порошкових і композиційних матеріалів.

5. Що таке пористість? Як вона впливає на властивості порошкових матеріалів?

6. Назвіть експериментальні методи дослідження пористості порошкових і композиційних матеріалів.

7. Які фактори впливають на формування структури порошкових матеріалів?

ДОДАТОК А

Пам'ятка з підготовки, дозування та формування порошків

1. *Підготовка порошку.* Просушити порошок у сушильній шафі протягом 4...8 годин залежно від їх об'єму.

2. *Підготовка форми для спікання.* Очистити від пилу та бруду внутрішню поверхню пуансону та форми. Очистку здійснювати за допомогою етилового спирту.

3. *Дозування.* Дозування здійснюється об'ємним або масовим способом. При об'ємному дозуванні необхідна кількість порошку вимірюється за допомогою спеціального мірника або через заповнення порошком

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Гегузин Я.Е.* Физика спекания. – М.: Наука, 1967. – 360 с.
2. *Косторнов А.Г.* Материаловедение дисперсных металлов и сплавов. – К.: Наукова думка, 2002. – Т. 1. – 569 с.
3. *Либенсон Г.А.* Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
4. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Под. ред. *Б.С. Митина.* – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
5. *Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А.* Технология порошковой металлургии. – К.: Высшая школа, 1989. – 415 с.

ЗМІСТ

<i>Лабораторна робота № 1. Дослідження особливостей форм та розмірів порошків</i>	3
<i>Лабораторна робота № 2. Дослідження особливостей статичного формування порошків</i>	9
<i>Лабораторна робота № 3. Дослідження особливостей спікання металевих порошкових матеріалів</i>	14
<i>Лабораторна робота № 4. Дослідження особливостей твердофазного спікання аморфних порошкових матеріалів</i>	19
<i>Лабораторна робота № 5. Дослідження особливостей спікання сумішей металевих і скляних порошкових матеріалів</i>	23
<i>Лабораторна робота № 6. Дослідження особливостей структури порошкових і композиційних матеріалів</i>	27
Додатки	32
Рекомендована літератури	34

Навчальне видання

ІВЛІСВ Анатолій Іванович
КАЗИМИРЕНКО Юлія Олексіївна
КОМАРОВ Михайло Юрійович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт з дисципліни "Теорія процесів
формування структури і властивостей порошкових
матеріалів"**

(українською мовою)

Редактор *О.Г. Тулузакова*
Комп'ютерна правка та верстка *О.М. Черевата*
Коректор *Н.О. Шайкіна*

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Підписано до друку 15.06.05. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 2,1. Обл.-вид. арк. 2,3.
Тираж 100 прим. Вид. № 19. Зам. № 188. Ціна договірна.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5