

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОПОРИСТИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Руденко Н. О.

У статті розглянуто та обчислено мікроструктуру зразків, виготовених за допомогою пороутворювача. Аналіз структури пористих зразків показав, що використання пороутворювачів при виготовленні високопористих матеріалів дозволяє одержувати вироби з рівномірною пористістю по всьому об'єму тіла й контрольованою пористістю. Стандартні методики металографічного аналізу дозволяють визначити основні характеристики даних виробів без застосування дорогого оснащення та трудомістких обчислень. Показано, що тиск пресування не має значного впливу на пори, що утворилися після видалення пороутворювача. Але зі збільшенням тиску пресування пористість між частками заліза трохи зменшується. Тиск пресування суттєво впливає на витягнутість пор, яка обумовлюється способом пресування. Зі збільшенням тиску пресування пори витягуються у напрямку, перпендикулярному напрямку пресування.

В статье рассмотрены и рассчитаны микроструктуры образцов, изготовленных с помощью порообразователя. Анализ структуры пористых образцов показал, что использование порообразователей при изготовлении высокопористых материалов позволяет получать изделия с равномерной пористостью по всему объему тела и контролируемой пористостью. Стандартные методики металлографического анализа позволяют определить основные характеристики данных изделий без применения дорогостоящей оснастки и трудоемких вычислений. Показано, что давление прессования не имеет значительного влияния на поры, образовавшихся после удаления порообразователя. Но с увеличением давления прессования пористость между частицами железа немного уменьшается. Давление прессования существенно влияет на вытянутость пор, которая определяется способом прессования. С увеличением давления прессования поры вытягиваются в направлении, перпендикулярном направлению прессования.

Microstructure of specimens manufactured using pore-former is considered and evaluated in the article. Analysis of porous samples structures showed that the use of pore-formers in the manufacture of highly porous material allows to obtain products with uniform porosity throughout the body volume and controlled porosity. Standard metallographic methods can determine the basic characteristics of these products without the use of expensive equipment and time-consuming calculations. It is shown that compaction pressure has no significant effect on the pores formed after removing the pore-former. But with increasing the pressure pores between particles of iron decreases slightly. Compaction pressure significantly affects on elongation of pores which is caused by method of pressing. With increasing compaction pressure pores stretch in the direction perpendicular to pressing direction.

Руденко Н. О.

канд. техн. наук, ст. викл. каф. МПФ ДДМА  
RudenkoNataliia@gmail.com

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК 621.762

Руденко Н. О.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОПОРИСТИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

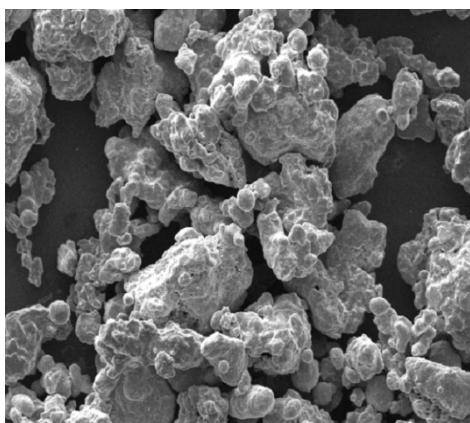
Пористі середовища, у тому числі й пористі метали, характеризуються цілим рядом параметрів, кожний з яких окремо не дає повного уявлення про властивості пористого тіла. До параметрів, що визначають пористу структуру, відносяться: пористість, її розподіл за об'ємом її вид (відкрита, закрита, напіввідкрита або тупикова); просвіт, проникність і розподіл проникності по площі фільтрації пористого тіла; форма та коефіцієнт звивистості пор; розподіл пор по розмірах, середні та максимальні розміри пор; в'язкостний та інерційний коефіцієнти; питома поверхня пор; стан поверхні пор; фізико-механічні властивості пористого матеріалу та інші характеристики [1]. Найважливіший вплив на експлуатаційні властивості пористих проникних матеріалів (ППМ) мають саме структурні характеристики [2].

У пористих матеріалах, виготовлених з несферичних часток різного розміру, форма пор носить випадковий характер [3]. Пори мають по всій довжині велику кількість звужень і розширень. На поверхні пор, як правило, зустрічаються макронерівності у вигляді виступів і западин. Пори з'єднуються із сусідніми порожнечами через звуження в площині, непаралельної напрямку фільтрації рідини. Напрямок руху рідини в порах майже завжди не збігається з напрямком фільтрації рідини. Тому шлях частки рідини при фільтрації завжди більше товщини зразка внаслідок звивистості пор [4]. На структуру порового простору суттєво впливають стан поверхні та форма часток. Чим складніше форма часток і більше число нерівностей на поверхні часток, тем викривлініше та неоднорідніше пори спеченого пористого матеріалу [5]. Для визначення структурних характеристик використовують наступні методи: розрахунковий, просочування, гідростатичного зважування та металографічний [6].

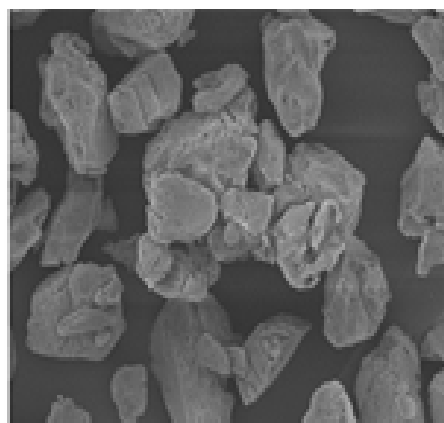
У зв'язку з розвитком техніки металографічних досліджень практично всі перераховані вище характеристики можна визначити без застосування складного і дорогого обладнання або трудомістких обчислень.

Метою роботи є дослідження основних параметрів високопористих порошкових зразків стандартними методами металографічного аналізу.

У якості вихідних матеріалів використовували порошок заліза, отриманий розпиленням розплаву водою (ГОСТ 9849–86) і порошок бікарбонату амонію  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  (ТУ У 6-04687873.025-95). Частки порошку заліза мали губчасту форму, порошок бікарбонату амонію є кристалами неправильної форми (рис. 1).



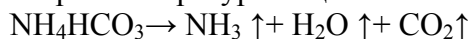
а



б

Рис. 1. Морфологія часток порошоків заліза (а) і бікарбонату амонію (б)

Вихідні порошки розсіювали на ситах і виділяли для наступних експериментів фракцію 125...250 мкм. Готували суміш, що містить 40 % порошку бікарбонату амонію та 60 % порошку заліза (за об'ємом). Щільності заліза та бікарбонату амонію суттєво відрізняються (7,874 г/см<sup>3</sup> та 1,586 г/см<sup>3</sup> відповідно), то для запобігання сегрегації цих порошків до суміші додавали гас у кількості 1 % по масі [7]. Змішування здійснювали вручну протягом 15 хвилин одночасно для всіх зразків. Однорідність суміші контролювали візуально. Для дослідження процесу ущільнення суміші пресували в циліндричній матриці із внутрішнім діаметром 16,8 мм. Навіски порошків вибирали так, щоб висота пресовок приблизно дорівнювала їхньому діаметру. Застосовувалася однобічна схема пресування [8]. Пресували серії зразків тиском від 100 до 700 МПа. Після пресування зразки підсушували у сушильній шафі. А потім спікали в лабораторній електропечі SNOL 7,2/1200 у відновлювальній атмосфері окису вуглецю CO [9]. Спикання пресовок проводили при температурі 1150°C протягом 1 години у середовищі CO. Нагрівання здійснювали зі швидкістю 7°C/хв і із проміжною витримкою при 850°C протягом 30 хвилин. Зразки охолоджували спочатку разом з піччю до 300°C, а потім поза робочою зоною печі до кімнатної температури. У процесі спікання бікарбонат амонію повністю видалявся із пресовок при температурі вище 100°C згідно з реакцією:



Після спікання зразки вимірювали, зважували та розраховували відносну щільність спечених зразків. Спечені зразки мали правильну циліндричну форму, а дефекти (тріщини) були відсутні.

Фотографії мікроструктур отримані за допомогою растрового електронного мікроскопа Zeiss Ultra 55. Аналіз мікроструктур показує, що спечені зразки мають так звану біпористу структуру, яка утворена порами малих розмірів між частками базових порошків заліза (пористість першого роду) і порами більших розмірів, що утворювалися в результаті видалення пороутворювача (пористість другого роду) [10].

Мікроструктури зразків наведені на рис. 2–4.

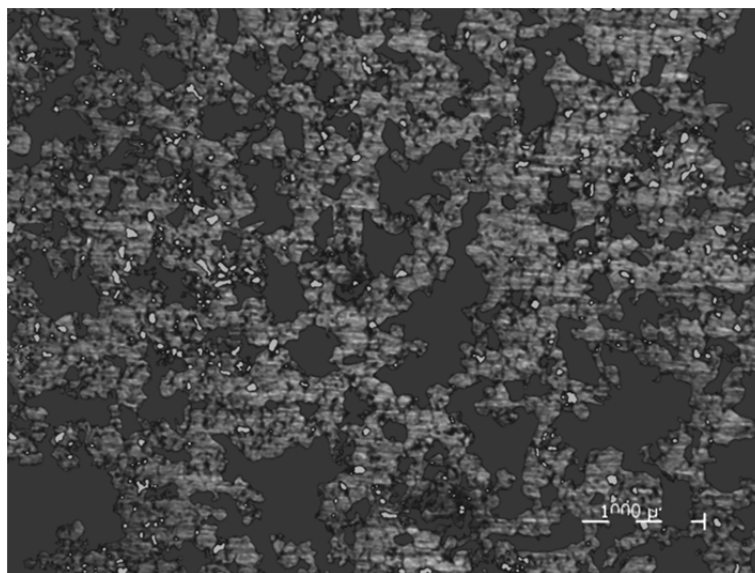


Рис. 2. Мікроструктура зразка складу 40 % Fe+60 %NH<sub>4</sub>CO<sub>3</sub>, відпресованого при тиску  $p_{пр} = 100$  МПа

Розрахунки основних характеристик високопористих зразків, виконаних за допомогою стандартних методик металографічного аналізу наведені в табл. 1–3.

Таблиця 1

## Характеристики структури зразка

Параметр	Сума	Середнє
Площа об'єкта, мкм <sup>2</sup>	7121624,500	51605,977
Діаметр окружності еквівалентної площі	-	195,101
Максимальний діаметр Фере, мкм	-	330,153
Мінімальний діаметр Фере, мкм	-	202,090
Витягнутість	-	1,73
Середній діаметр, мкм	-	266,122

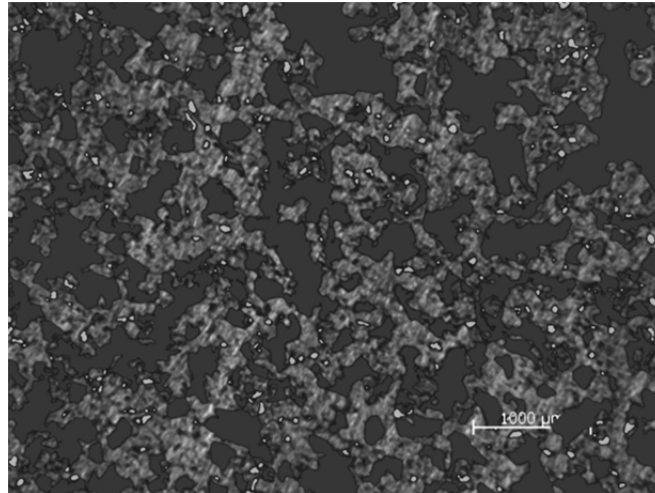


Рис. 3. Мікроструктура зразка складу 40 % Fe+60 %NH<sub>4</sub>CO<sub>3</sub>, відпресованого при тиску  $p_{пр} = 400$  МПа

Таблиця 2

## Характеристики структури зразка

Параметр	Сума	Середнє
Площа об'єкта, мкм <sup>2</sup>	7809337,500	52062,250
Діаметр окружності еквівалентної площі	-	200,417
Максимальний діаметр Фере, мкм	-	331,143
Мінімальний діаметр Фере, мкм	-	203,542
Витягнутість	-	1,70
Середній діаметр, мкм	-	267,342

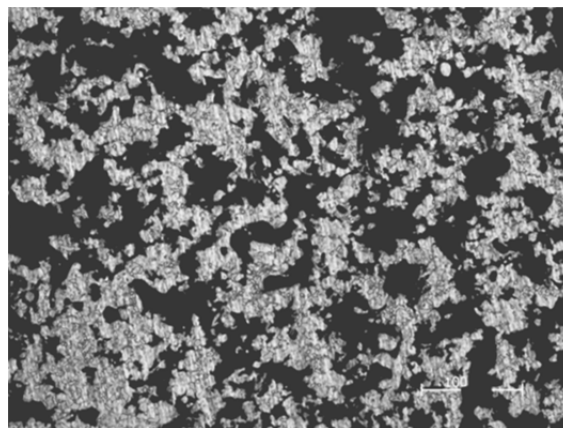


Рис. 4. Мікроструктура зразка складу 40 % Fe+60 %NH<sub>4</sub>CO<sub>3</sub>, відпресованого при тиску  $p_{пр} = 700$  МПа

Таблиця 3

## Характеристики структури зразка

Параметр	Сума	Середнє
Площа об'єкта, мкм <sup>2</sup>	10649674,000	134806,000
Діаметр окружності еквівалентної площі	-	261,098
Максимальний діаметр Фере, мкм	-	468,654
Мінімальний діаметр Фере, мкм	-	309,514
Витягнутість	-	1,66
Середній діаметр, мкм	-	389,084

Структура зразків складається з декількох характерних елементів. Темні області відповідають порам. Світлі області утворюють більшість і являють собою спечені частки заліза. Видні більш дрібні пори, що становлять пористість спеченого заліза та великі, що утворювалися при видаленні пороутворювача. Пори, утворені в результаті видалення пороутворювача за формою та розмірам, відповідають часткам бікарбонату амонію.

## ВИСНОВКИ

Аналіз структури пористих зразків показав, що використання пороутворювачів при виготовленні високопористих матеріалів дозволяє одержувати вироби з рівномірною пористістю по всьому об'єму тіла й контрольованою пористістю. Стандартні методики металографічного аналізу дозволяють визначити основні характеристики даних виробів без застосування дорогого оснащення й трудомістких обчислень. Також обчислення показали, що тиск пресування не має значного впливу на пори, що утворилися після видалення пороутворювача. Але зі збільшенням тиску пресування пористість між частками заліза трохи зменшується. Тиск пресування суттєво впливає на витягнутість пор, яка обумовлюється способом пресування. Зі збільшенням тиску пресування пори витягуються у напрямку перпендикулярному напрямку пресування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рябичева Л. А. Развитие технологий изготовления изделий из порошковых материалов / Л. А. Рябичева // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки матеріалів тиском у машинобудуванні: зб. наук. пр. – Луганськ, 2009. – С. 3–11. ISSN 2218–1806.
2. Тумилович М. В. Пористые порошковые материалы с повышенной эффективностью ионообменной очистки жидких и газообразных сред / М. В. Тумилович, Л. П. Пилиневич // Литье и металлургия. – 2011. – № 4(63). – С. 60–65.
3. Neikov O. Handbook of non-ferrous metal powders: technologies and applications / O. Neikov [et. al.]. – Elsevier, 2009. – 634 p. – ISBN 978-1-85617-422-0.
4. Еськов Б. Б. Пористые материалы / Б. Б. Еськов, Д. В. Лагунов, В. С. Лагунов – Воронеж: Наука, 1995. – 362 с.
5. Изготовление пористых порошковых материалов с управляемым направлением фильтрации / В. Н. Ковалевский и др. // Литье и металлургия. – 2015. – № 1(78). – С. 134–138.
6. Metallographic Analysis and Microstructural Image Processing of Sandblasting Nozzles Produced by Powder Metallurgy Methods / O. Yu. Povstyanoi, V. A. Sychuk, A. McMillan, V. D. Rud', O. V. Zabolotnyi // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2015. – Vol. 54. – Iss. 3. – P. 234–240.
7. Руденко Н.А. Кинетика усадки (роста) при спекании пористых материалов с высоким содержанием различных порообразователей / Н.А. Руденко, Л.В. Попивненко // Научный вестник ДГМА. – Краматорск, 2009. – №2 (5E). С. 141–148. ISSN 1993-8322.
8. Руденко Н.А. Получение и свойства высокопористого материала на основе порошка железа / Н.А. Руденко, А.М. Лаптев // Вестник ХНАДУ. – Харьков, 2009. Вып. 46. С. 105–107.
9. Rudenko N.A. Compaction and properties of highly porous powder parts produced with various pore formers / N.A. Rudenko, A.M. Laptev // Mechanical Testing and Diagnosis. – 2011. – Issue 1. – PP. 82–87 // www.om.ugal.ro/mtd/issue2011-1.html.
10. Руденко Н. А. Исследование влияния давления прессования и количества порообразователя на микроструктуру высокопористых изделий, изготовленных с применением бикарбоната аммония / Н. А. Руденко А. М. Лаптев / Вестник ДГМА. – 2011. – № 1. – С. 242–245.