

УДК 621.762

Руденко Н. О.
Коткова В. В.

МІКРОСТРУКТУРА ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРОУТВОРЮВАЧА

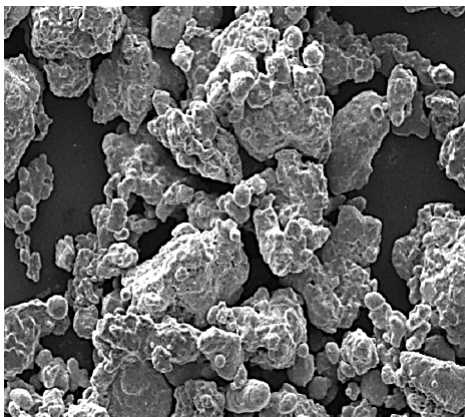
Проникні матеріали широко використовують техніці та інших галузях народного господарства. Методами порошкової металургії з металів та керамічних матеріалів одержують пористі порошкові матеріали, сітчасті, волокнисті та інші матеріали [1].

Пористі середовища характеризуються рядом параметрів, сукупність яких дає повне уявлення про властивості пористого матеріалу. До цих параметрів відносяться: пористість, її розподіл за об'ємом матеріалу; вид пористості (відкрита, закрита та тупикова); форма та коефіцієнт звивистості пор; розподіл пор по розмірах (середні та максимальні розміри пор); питома поверхня пор; стан поверхні пор [2]. Відомості по цим параметрам є вихідними даними для визначення проникності та розподілу проникності по площі фільтрації пористого матеріалу та фізико-механічних властивостей пористого матеріалу.

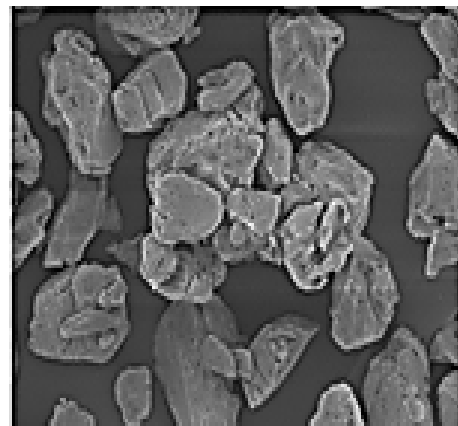
У пористих матеріалах, виготовлених з несферичних часток різного розміру, форма пор носить випадковий характер [3]. Пори мають по всій довжині велику кількість звужень і розширень. На поверхні пор, як правило, зустрічаються макронерівності у вигляді виступів і западин. Пори з'єднуються із сусідніми порожнечами через звуження в площині, непаралельній напрямку фільтрації рідини. Напрямок руху рідини в порах майже завжди не збігається з напрямком фільтрації рідини. Тому шлях 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]. Основним методом визначення форми та стану поверхні пор є дослідження мікроструктури пористих матеріалів [6].

Метою роботи є встановлення залежності між тиском пресування, складом сумішей і мікроструктурою пористих зразків, виготовлених із застосуванням пороутворювача. Робота виконувалася експериментально.

У якості вихідних матеріалів використовували порошок заліза (базовий порошок), отриманий розпиленням розплаву водою (ГОСТ 9849–86) і порошок бікарбонату амонію NH_4HCO_3 (ТУ 6-04687873.025-95). Частки порошку заліза мали губчасту форму, порошок бікарбонату амонію становили кристали 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 суміші, що містять 20 %, 40 % і 60 % порошку бікарбонату амонію і, відповідно, 80 %, 60 % і 40 % порошку заліза (за об'ємом).

Масу навіски базового порошку m_6 розраховували по формулі:

$$m_6 = k \cdot V \cdot n \cdot x \cdot \rho_6,$$

де V – об'єм одного зразка;

n – кількість зразків у партії;

x – об'ємна частка базового порошку в суміші;

ρ_6 – абсолютна щільність матеріалу базового порошку;

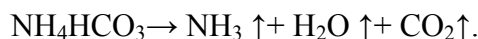
k – коефіцієнт, що враховує втрати порошку при виготовленні зразків дорівнює 1,05.

Масу навіски порошку пороутворювача $m_{\text{пор}}$ визначали зі співвідношення

$$m_{\text{пор}} = k \cdot V \cdot n \cdot (1 - x) \cdot \rho_{\text{пор}},$$

де $\rho_{\text{пор}}$ – абсолютна щільність матеріалу порошку пороутворювача.

Тому що щільності заліза та бікарбонату амонію суттєво різняться (7,874 г/см³ та 1,586 г/см³ відповідно), то для запобігання сегрегації цих порошків до суміші додавали гас у кількості 1 % по масі. 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 була приблизно рівна їхньому діаметру. Застосовувалася однібічна схема пресування [7]. Пресували серії зразків тиском від 100 до 800 МПа із кроком 100 МПа. Спінання пресовок проводили при температурі 1150 °С протягом 1 години на відновлювальному середовищі CO. Нагрівання здійснювали зі швидкістю 7 °С/хв і із проміжною витримкою при 850 °С протягом 30 хвилин. Зразки охолоджували спочатку разом з піччю до 300 °С, а потім поза робочою зоною печі до кімнатної температури. Після спікання зразки вимірювали, зважували та розраховували відносну щільність спечених зразків. У процесі спікання бікарбонат амонію повністю віддалявся із пресовок при температурі вище 100 °С згідно з реакцією:



На рис. 2–3 представлені криві ущільнення вихідних сумішей порошкових матеріалів та залежності пористості спеченого виробу від тиску пресування.

При підвищенні вмісту пороутворювача ущільнюваність сумішей підвищується. Це пояснюється кращою ущільнюваністю порошку бікарбонату амонію у порівнянні з порошком заліза [8]. Після спікання відносна щільність зразків змінюється незначно, тому що кінцева пористість виробу визначається, в основному, порами, що утворюються в результаті видалення бікарбонату амонію.

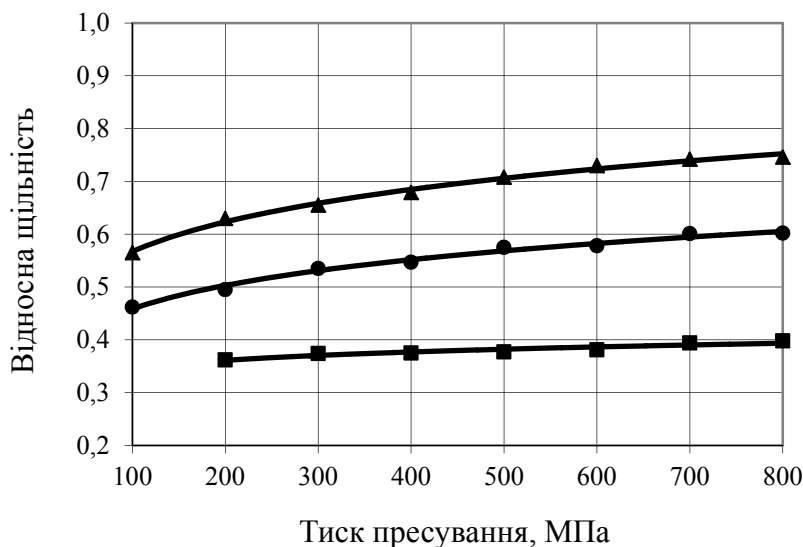


Рис. 2. Криві ущільнення сумішей:

▲ – 20 % NH₄HCO₃ + 80 % Fe; ● – 40 % NH₄HCO₃ + 60 % Fe; ■ – 60 % NH₄HCO₃ + 40 % Fe

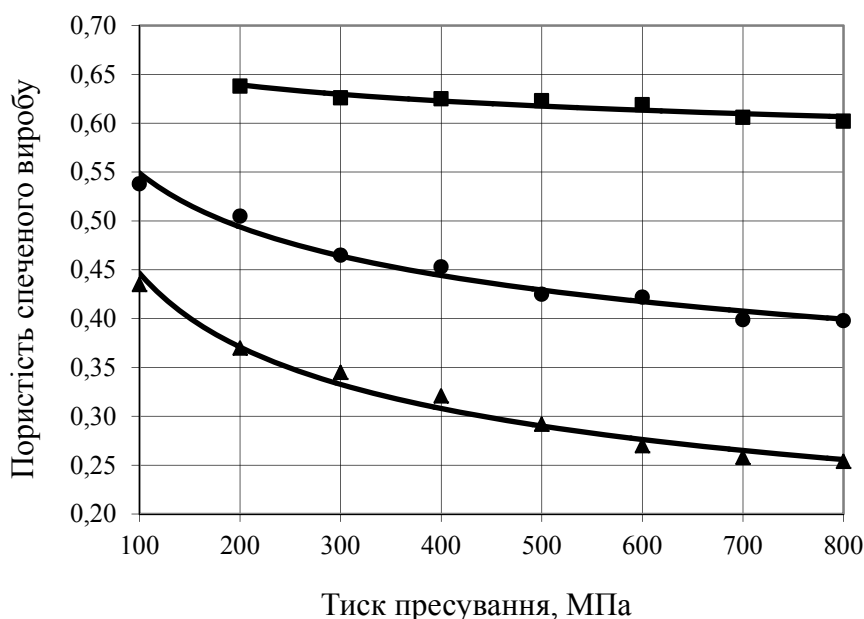


Рис. 3. Залежність пористості спеченого виробу від тиску пресування:

▲ – суміш 20 % NH₄HCO₃ + 80 % Fe; ● – суміш 40 % NH₄HCO₃ + 60 % Fe; ■ – суміш 60 % NH₄HCO₃ + 40 % Fe

Вивчення мікроструктури спечених зразків проводили в дослідницькому центрі Юліх (Німеччина). Для цього використовували бінокулярний стерео-мікроскоп Olympus SZX 12, оптичний мікроскоп Olympus PMG 3 і растровий електронний мікроскоп Zeiss Ultra 55, оснащений енергодисперсійним спектрометром Inca Energy 355, який застосовували для мікроаналізу та ідентифікації фаз.

Мікроструктури спечених пористих залізних зразків представлені на рис. 4–6.

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.

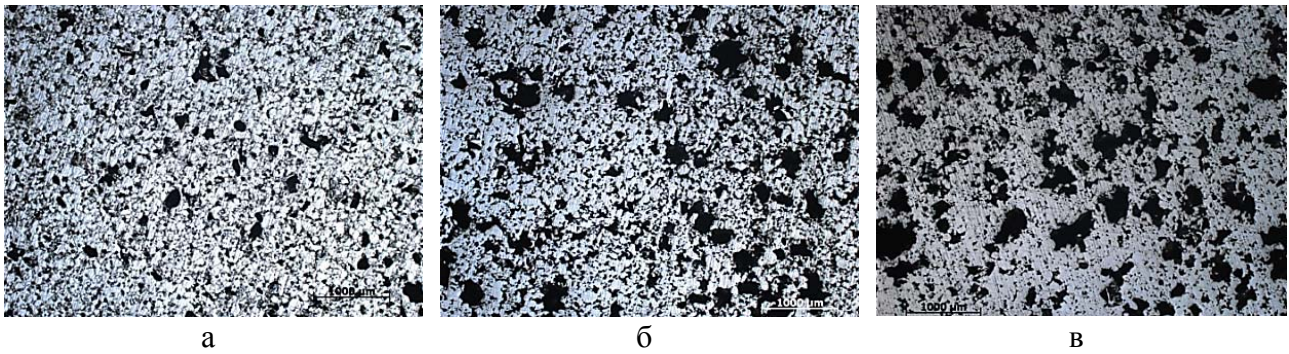


Рис. 4. Мікроструктура пористих зразків з об'ємним вмістом бікарбонату амонію 20 %, відпресованих при тиску 100 МПа (а), 400 МПа (б), 800 МПа (в)

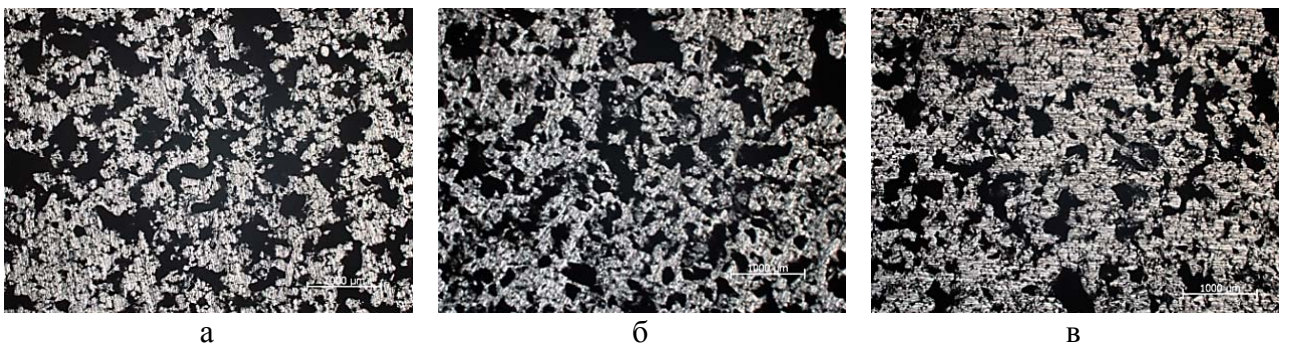


Рис. 5. Мікроструктура пористих зразків з об'ємним вмістом бікарбонату амонію 40 %, відпресованих при тиску 100 МПа (а), 400 МПа (б), 800 МПа (в)

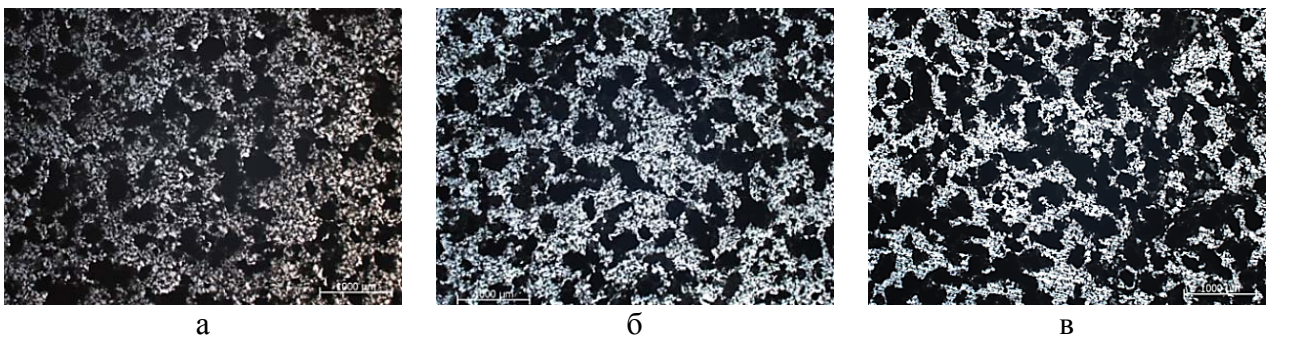


Рис. 6. Мікроструктура пористих зразків з об'ємним вмістом бікарбонату амонію 60 %, відпресованих при тиску 100 МПа (а), 400 МПа (б), 800 МПа (в)

Пори, утворені в результаті видалення пороутворювача, за формою та розмірам приблизно відповідають часткам бікарбонату амонію. Зі збільшення вмісту пороутворювача в суміші пористість виробів зростає, що пов'язане з утворенням більшої кількості пор, що утворюються після розкладання бікарбонату амонію. Зі збільшення тиску пресування пористість спечених виробів трохи зменшується.

ВИСНОВКИ

З підвищенням вмісту пороутворювача в суміші її ущільнюваність зростає. Це пов'язане з більшою ущільнюваністю порошку бікарбонату амонію в порівнянні з ущільнюваністю порошку заліза.

Після спікання відносна пористість зразків зменшується незначно, тому що пористість визначається великими порами, утвореними після видалення пороутворювача. Дрібні пори, утворені частками заліза, зменшуються при спіканні, а розмір великих пор залишається приблизно постійним і відповідає розмірам часток пороутворювача.

Зі збільшення тиску пресування пористість виробів трохи зменшується.

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 очистки жидких и газообразных сред / М. В. Тумилович, Л. П. Пилинович // 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. Прессование смеси железа и хлорида натрия / Н. А. Руденко, А. М. Лаптев, Л. В. Попивненко // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2009. – №1 (20). – С. 326–329.
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.

REFERENCES

1. Rjabicheva L. A. Razvitie tehnologij izgotovlenija izdelij iz poroshkovyh materialov / L. A. Rjabicheva // Resursozberigajuchi tehnologii virobnictva ta obrobki materialiv tiskom u mashinobuduvanni : zb. nauk. pr. – Lugans'k, 2009. – S. 3–11. – ISSN 2218-1806.
2. Tumilovich M. V. Poristye poroshkovye materialy s povyshennoj jeffektivnost'ju iochistki zhidkih i gazoobraznyh sred / M. V. Tumilovich, L. P. Pilinevich // Lit'e i metallurgija. – 2011. – № 4(63). – S. 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. Es'kov B. B. Poristye materialy / B. B. Es'kov, D. V. Lagunov, V. S. Lagunov – Voronezh : Nauka, 1995. – 362 s.
5. Izgotovlenie poristyh poroshkovyh materialov s upravljaemym napravleniem fil'tracii / V. N. Kovalevskij i dr. // Lit'e i metallurgija. – 2015. – № 1(78). – S. 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. Rudenko N. A. Pressovanie smesi zheleza i hlorida natrija / N. A. Rudenko, A. M. Laptev, L. V. Popivnenko // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMA, 2009. – №1 (20). – S. 326–329.
8. Rudenko N. A. Poluchenie i svojstva vysokoporistogo materiala na osnove poroshka zheleza / N. A. Rudenko, A. M. Laptev // Vestnik HNADU. – Har'kov, 2009. – Vyp. 46. – S. 105–107.

Руденко Н. О. – канд. техн. наук, ст. викл. каф. МПФ ДДМА;

Коткова В. В. – магістр ДДМА.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

E-mail: RudenkoNataliia@gmail.com

Стаття надійшла до редакції 11.12.2017 р.