

УДК 621.072.32

ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРУВАТИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

О. Ю. ПОВСТЯНОЙ, В. Д. РУДЬ, Л. М. САМЧУК, Н. Т. ЗУБОВЕЦЬКА

Луцький національний технічний університет

Досліджено, що запропонований поруватий матеріал на основі відходів металообробки можна використовувати для регенерації технічних рідин і мастил. Собівартість виготовлення фільтрів з використанням відходів (порошок сталі ШХ15) методом самопоширюваного високотемпературного синтезу в 2–3 рази нижча, ніж фільтрів, які виготовлені за стандартною технологією. Створення фільтрів з відносно дешевої і доступної сировини із забезпеченням всього комплексу характеристик, які необхідні для тривалої та якісної роботи, робить їх конкурентоспроможними в умовах ринкової економіки.

Ключові слова: *поруватий матеріал, самопоширюваний високотемпературний синтез, порошок сталі ШХ15, регенерація, радіально-ізостатичне пресування.*

На сьогодні створення маловідходних і енергозберігальних технологічних процесів є досить актуальним завданням у зв'язку з поступовим виснаженням запасів мінеральної сировини й органічного палива. Одним з важливих шляхів його вирішення є утилізація відходів металообробки, значну частину яких можна переробити із застосуванням ефективних методів порошкової металургії.

Поруваті матеріали (ПМ) в останні роки набули широкого використання, зокрема для фільтрації мастильно-охолоджувальних рідин.

Мета роботи – науково-практичне обґрунтування технології виготовлення поруватого матеріалу з комплексом покращених фільтрувальних показників для очищення технічних рідин та мастил.

Методика досліджень та використані матеріали. У Луцькому НТУ впродовж багатьох років виготовляють ПМ на основі відходів промислового виробництва із застосуванням методу самопоширюваного високотемпературного синтезу (СВС) [1–3].

Вихідним матеріалом для отримання нових ПМ є порошок ШХ15, який отриманий за новою запатентованою технологією, де головною відмінністю від існуючих переробок шламових відходів промислового виробництва є те, що після подрібнення утвореного спеку виконують додаткове подрібнення-обкочування на кульовому млині для надання частинкам порошку менших розмірів та регулярної кулеподібної форми [4, 5]. Хімічний аналіз цього вихідного порошку порівняли з хімічним складом за ГОСТ 801-78 (див. таблицю).

Попереднє приготування шихти. Щоб приготувати шихту для деталей заданої пористості, використовували порошки з розміром частинок 0,063...0,63 мм. Для зміни розмірів пор ПМ вводили в шихту пороутворювач – порошок карбаміду $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ [6, 7], який вибраний з таких міркувань: порошок карбаміду $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ під час спікання розчиняється без утворення рідкої фази за температури нижчої температури спікання порошку сталі ШХ15, не утворюючи компонен-

тів, які забруднюють основний матеріал та середовище; пороутворювач $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ володіє змазкою та зв'язкою, зменшуючи вплив тертя під час пресування, тим самим покращуючи спресовування та формування.

**Хімічний склад відходів промислового виробництва (порошок ШХ15)
і компактної сталі ШХ15**

Матеріал	Вміст хімічних елементів, %							
	C	Si	Ni	Mn	Cr	O	Cu	P
Порошок сталі ШХ15	1,5	0,3	0,16	0,15	1,44	1,2	–	0,037
Сталь ШХ15 (ГОСТ 801-78)	0,95... 1,05	0,17	0,30	0,20... 0,40	1,30... 1,65	–	0,2... 0,37	0,027

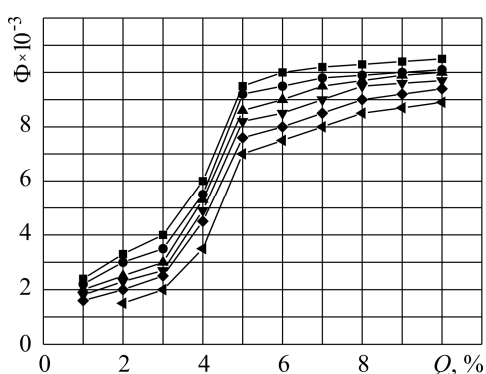


Рис. 1. Залежність формівності (Φ) порошоків сталі ШХ15 від вмісту пороутворювача (Q) для різних фракцій: ■ – 0,400...0,630 мм; ● – 0,315...0,400 мм; ▲ – 0,200...0,315 мм; ▼ – 0,160...0,200 мм; ◆ – 0,100...0,160 мм; ◀ – 0,063...0,100 мм.

Fig. 1. Dependence of BBS15 (ШХ15) steel powders molding (Φ) on steam generator content (Q) for different fractions: ■ – 0.400...0.630 mm; ● – 0.315...0.400 mm; ▲ – 0.200...0.315 mm; ▼ – 0.160...0.200 mm; ◆ – 0.100...0.160 mm; ◀ – 0.063...0.100 mm.

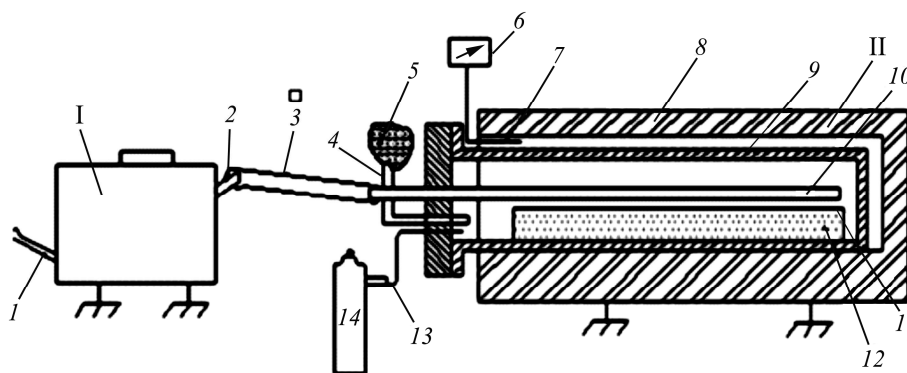


Рис. 2. Технологічна схема відновлення порошоків: I – вдосконалений газогенератор: 1 – трубка підведення води; 2 – трубка підведення аргону; 3 – трубопровід. II – електропіч марки СНОЛ 10-11В: 4 – контрольна трубка; 5 – факел; 6 – датчик температури; 7 – термопара; 8 – вогнетривка цегла; 9 – контейнер; 10 – трубка підведення газу; 11 – ємність із сталі 40Х13; 12 – металевий порошок; 13 – трубка підведення аргону; 14 – балон з аргонном.

Fig. 2. Technological chart of powders recovery: I – improved gas-generator: 1 – tube of water supply; 2 – argon gas supply pipe; 3 – pipeline. II – electric furnace СНОЛ 10-11В: 4 – control tube; 5 – torch; 6 – temperature sensor; 7 – thermocouple; 8 – refractory bricks; 9 – container; 10 – gas supply pipe; 11 – capacity of 40X13 steel; 12 – metal powder; 13 – pipe of argon supply; 14 – cylinder with argon.

Результати досліджень залежності формівності порошків ШХ15 різних фракцій від вмісту пороутворювача $\text{CO}(\text{NH}_2)$ подані на рис. 1. Враховуючи, що характеристикою формівності порошку є його здатність зберігати надану йому в результаті пресування форму, за якої пресовки після видалення з прес-форми не осипаються і не мають розшарувань [8], а також те, що чим більша пористість, то вища проникність, тут взята мінімальна міцність на стиск ($\sigma_{\text{comp}} = 1 \text{ МПа}$), а тиск пресування в межах 5...100 МПа.

Щоб надати порошку сталі ШХ15 покращених технологічних властивостей, здійснюємо відновлення для зняття внутрішніх напружень у частинках порошку, використовуючи технологічну схему (рис. 2), яка складається з газогенератора та електропечі марки СНОЛ 10-11В. Для уникнення вибухонебезпечності перед відновленням робочу камеру електропечі марки СНОЛ 10-11В продували аргоном.

Пресування ПМ здійснювали на установці (рис. 3) з використанням радіальної схеми пресування, яка дозволяє отримувати ПМ з рівномірним розподілом густини в пресовках у широкому діапазоні тисків (рис. 4) [9].

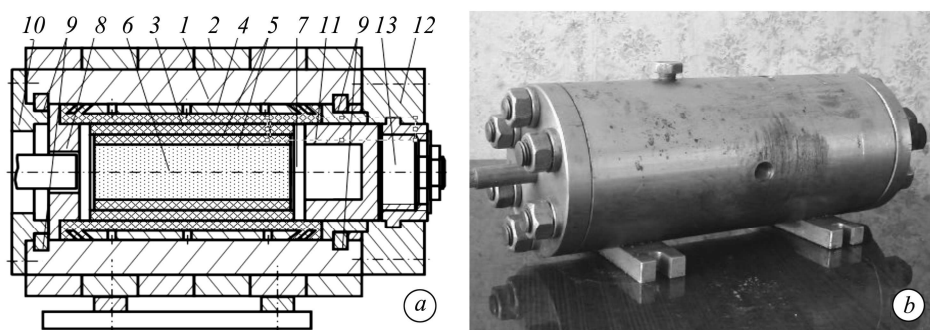


Рис. 3. Схема конструкції (а) та загальний вид (b) прес-блока напівпромислової установки для СР-ІІІ у замкнутому об'ємі: 1 – корпус; 2 – кільця (бандаж); 3 – вкладиш еластичний; 4 – армувальний елемент; 5 – набір оболонок еластичних; 6 – порошок; 7 – пробка; 8 – упорний диск; 9 – кулачки розрізні; 10, 12 – кришки; 11 – стакан; 13 – повзун.

Fig. 3. Construction (a) and general view (b) of press unit of semi-industrial plant for СР-ІІІ in the closed volume: 1 – case; 2 – ring (band); 3 – elastic insert; 4 – reinforcing element; 5 – a set of elastic shells; 6 – powder; 7 – tube; 8 – resistant disk; 9 – Cams split; 10, 12 – cover; 11 – a glass; 13 – slider.

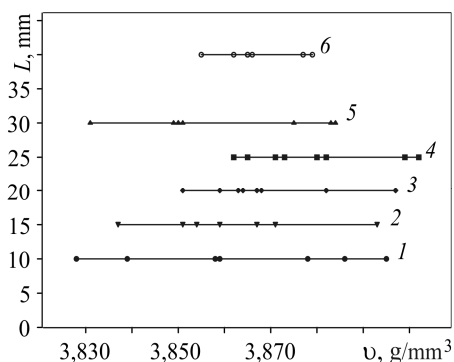


Рис. 4. Розподіл густин (v) за довжиною поперечного перерізу (L) циліндричних заготовок на основі порошку ШХ15 шести партій ПМ: 1 – $L = 10 \text{ mm}$; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25; 5 – 30; 6 – 40 mm.

Fig. 4. Density distribution (v) by the length of cross-section (L) of cylindrical workpieces based BBS15 powder of six batches of porous materials (PM): 1 – $L = 10 \text{ mm}$; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25; 5 – 30; 6 – 40 mm.

Спінання ПМ. Спінання сформованих заготовок є однією з важливих технологічних операцій, які застосовують під час виготовлення ПМ. Спікали за допо-

могою СВС [10–12]. На рис. 5 наведено поперечний переріз ПМ, отриманий за запропонованою технологією.

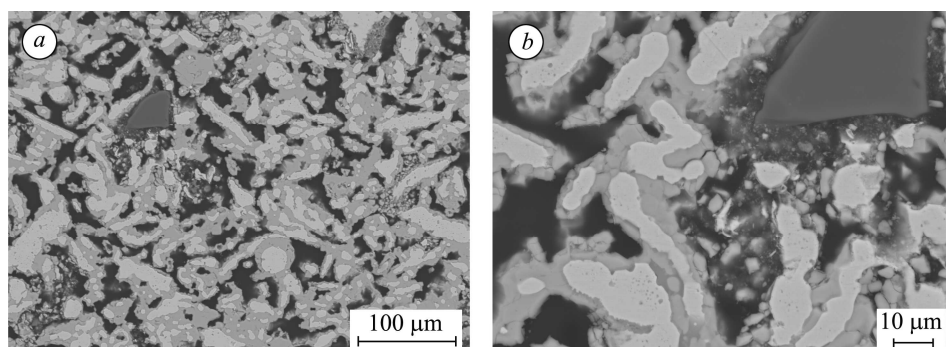


Рис. 5. Структура поперечного перерізу ПМ, отриманого за запропонованою технологією: *a* – $\times 250$; *b* – $\times 1000$. Світлі ділянки відповідають порошку ШХ15, а темні – порам.

Fig. 5. Cross-section structure of PM obtained by a new technology: *a* – $\times 250$; *b* – $\times 1000$. Light regions correspond to powder BBS15, and dark – pores.

Визначення пористості досліджуваного зразка ПМ. Серед існуючих методів дослідження пористої структури фільтрувальних матеріалів вибрали металографічний метод. Він базується на визначенні просвіту пористого матеріалу за мікрофотографіями. Для цього використовують аналізатори зображень різних видів. Мікрофотографії для дослідження отримували за допомогою оптичного мікроскопа МИМ-10 ($\times 120$). Перевагою цього методу є можливість оцінки пористості та статистичних характеристик за перерізом досліджуваного зразка.

Кінцева задача металографічного аналізу – статистична обробка отриманих під час вимірювання характеристик об'єктів за допомогою прикладних програм, визначення середніх значень цих величин, а також побудова графічних залежностей для візуалізації аналізу.

Вмонтований механізм автоматизації абсолютно прозорий для користувача і дає змогу без надмірних навантажень на програму накопичувати та аналізувати різні дані, отримувати інтегральні характеристики та порозподілення.

Результати досліджень. Розподіл частинок забруднювача за розмірами несуттєво впливає на розміри пор, коефіцієнти проникності та пористість. Це дає змогу говорити про ефективне використання ПМ з відходів промислового виробництва, про що і свідчать отримані експериментальні результати (рис. 6).

Досліджували на установці для визначення проникності ПМ. Максимальний час проходження суспензії через фільтри 33 h. Особливою відмінністю цієї конструкції є можливість визначення проникності відразу чотирьох досліджуваних зразків з різною пористістю, або необхідної кількості ПМ, а також можливість багаторазового використання дослідних зразків з урахуванням регенерації фільтрувальних матеріалів.

Перед випробуваннями конструкцію перевіряють на герметичність, створюють максимально можливий перепад тисків для цієї установки та випробовуваного фільтра.

Як бачимо (рис. 6), під час фільтрації частинки забруднювача дійсно зупиняються переважно на передніх площинах зробленого перерізу. У момент часу $t = 33$ h від початку фільтрації відбувається одночасне закупорювання всього перерізу частинками забруднювача (точки 1–3). Розподіл забруднювача по січенню ПМ у момент закупорювання показано на рис. 7.

Отже, завдяки змінній пористості по січенню ПМ рівномірніше розподіляється забруднювач по об'єму порівняно з аналогічними фільтрувальними ПМ. Різкі перепади (піки) вказують на закупорювання зробленого перерізу ПМ забруднювачем за подальшого його промивання (рис. 7).

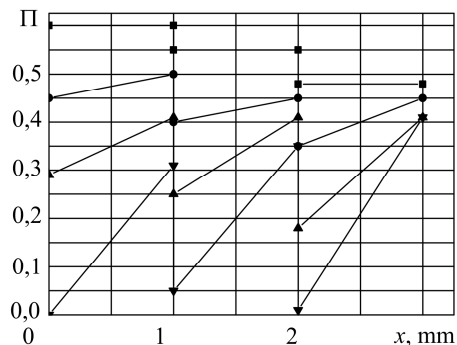


Рис. 6. Fig. 6.

Рис. 6. Зміна під час фільтрації розподілу пористості (Π) за січеннями ПМ (x):
 ■ – 0 h; ● – 10 h; ▲ – 20 h; ▼ – 33 h.

Fig. 6. Change in the distribution of filtering porosity (Π) by PM cross-sections (x):
 ■ – 0 h; ● – 10 h; ▲ – 20 h; ▼ – 33 h.

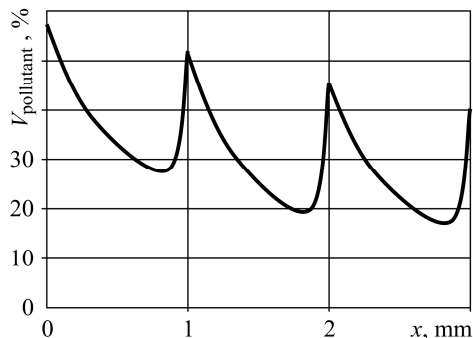


Рис. 7. Fig. 7.

Рис. 7. Розподіл забруднювача по січенню (x) ПМ у момент закупорювання.

Fig. 7. The distribution of the pollutant (x) in the PM chopping at the time of closing.

ВИСНОВКИ

Експериментально доведено, що ПМ, які отримані за запропонованою технологією мають коефіцієнт проникності в 3, а ресурс та брудоемність у 1,5 рази вищі, ніж у ПМ, які отримані за традиційними технологіями, при цьому маса фільтра на 20% менша. Завдяки використанню виготовлених ПМ можна знизити витрати на очищення мастила та технічних рідин на 23%. Собівартість виготовлення ПМ з відходів промислового виробництва методом СВС-спікання у 2,5 рази нижча за матеріали, які виготовлені за стандартними технологіями. Отримані ПМ успішно використовують на SKF “Україна” (м. Луцьк) та ПАТ “Електротермометрія” (м. Луцьк) для очищення технічних рідин та мастил. Створення таких матеріалів із відносно дешевої та доступної сировини із забезпеченням всього комплексу характеристик, необхідних для тривалої і якісної роботи, робить їх конкурентоспроможними в умовах нової економіки України та світу.

РЕЗЮМЕ. Исследовано, что предложенный пористый фильтровальный материал на основе отходов металлообработки можно использовать для регенерации технических жидкостей и масел. Себестоимость изготовления фильтров с использованием отходов (порошок стали ШХ15) методом самораспространяемого высокотемпературного синтеза в 2–3 раза ниже, чем у фильтров, изготовленных с использованием стандартной технологии. Создание фильтров с относительно дешевого и доступного сырья с обеспечением всего комплекса характеристик, необходимых для продолжительной и качественной работы, делает их конкурентоспособными в условиях рыночной экономики.

SUMMARY. Industrial tests have shown that the proposed porous filtering material on the base of waste metal can be used for regeneration of technical liquids and technical oils. The cost of manufacture of filters using waste (steel BBS15 powder (ШХ15)) by the method of self-propagation high-temperature synthesis in 2–3 times to compare with the analogous filters, manufactured using standard technology. The filters manufacture cost is reduced due to the use of industrial wastes. Creating filters with relatively cheap and available raw materials with the

provision of the entire complex of properties and characteristics necessary for their long-term and qualitative operation makes them competitive in the conditions of market economy.

1. *Оцінка якості фільтрів виготовлених з порошкових матеріалів в режимі СВС* / В. Д. Рудь, Н. М. Защепкіна, Л. М. Самчук, О. Ю. Чужкова // *Наук. нотатки*. – 2012. – Вип. 36. – С. 280–282.
2. *До експериментального визначення поверхні навантаження металевих порошків* / В. Д. Рудь, О. В. Заболотний, Т. Н. Гальчук, О. Ю. Повстяной, Л. М. Клепач // *Наук. нотатки*. – 2005. – Вип. 17. – С. 304–309.
3. *Реут О. П., Богинский Л. С., Петюшик Е. Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов*. – Минск: Дзбор, 1998. – 258 с.
4. *Патент України № 63558 А МПК 7 В22F9/04. Спосіб отримання металевого порошку з шламових відходів підшипникового виробництва* / В. Д. Рудь, Т. Н. Гальчук, О. Ю. Повстяной. – Опубл. 15.01.04; Бюл. № 1.
5. *Повстяной О. Ю. Удосконалення технології виготовлення пористих порошкових матеріалів з використанням відходів промислового виробництва: дис. ... канд. техн. наук*. – Луцьк, 2007. – 170 с.
6. *Патент України на винахід № 76002 С2 МПК (2006) В01D 39/00. Спосіб отримання фільтрів* / О. Ю. Повстяной, В. Д. Рудь. – Опубл. 15.06.06.; Бюл. № 6.
7. *Патент України на корисну модель МПК В22F 9/00, В01D39/00. Спосіб отримання фільтруючого матеріалу* / В. Д. Рудь, О. Ю. Повстяной, Л. М. Самчук, І. В. Савюк, Ю. В. Куц. – Опубл. 10.08.15; Бюл. № 15.
8. *Витязь П. А., Капцевич В. М., Кусин Р. А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления*. – Минск: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.
9. *Використання модульних конструкцій при отриманні виробів методом радіально-ізо-статичного пресування* / О. В. Заболотний, Д. О. Сомов, О. Ю. Повстяной, В. А. Сичук // *Міжн. наук.-техн. конф. “Застосування теорії пластичності в сучасних технологіях обробки тиском і автотехнічних експертизах”*. Тези доп. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – С. 113–116.
10. *Патент України на корисну модель МКИ 7 В 01 D35/02. Газогенератор* / В. Д. Рудь, Л. М. Самчук, М. І. Колядинський, О. О. Дуда. – Опубл. 16.03.09; Бюл. № 4.
11. *Патент України на корисну модель МПК В22F 3/23. Реактор для проведення самопоширюючого високотемпературного синтезу (СВС-процесу)* / Л. М. Самчук, Н. М. Гулієва, В. Д. Рудь, О. Ю. Повстяной, І. В. Савюк, Ю. В. Воробей, М. М. Заїкін. – Опубл. 25.06.14; Бюл. № 12.
12. *Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика*. – Черно-головка: Территория, 2001. – 432 с.

Одержано 08.08.2014