

свойства термообработанных при температуре 180°C (табл. 2) и скокованных при 800 °С (рисунок) образцов, лучшие свойства наблюдаем у образцов состава № 2, где количество антиоксиданта составляет 6 %, количество графита – 2 % и давление прессования –150 МПа.

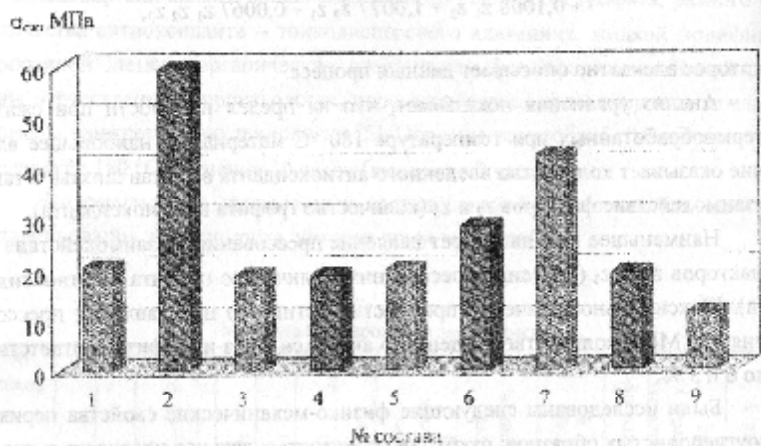


Рисунок – Предел прочности при сжатии периклазоуглеродистых огнеупоров скокованных при температуре 800 °С

**Выводы:** Оптимизированы технологические параметры производства периклазоуглеродистых материалов на фенолформальдегидной смоле и разработаны составы периклазоуглеродистых огнеупоров с высокими эксплуатационными характеристиками.

**Список литературы.** 1. Кононов В.А. Повышение стойкости футеровки спалеразивочных ковшей мартемнянского производства ЗАО «МЗ»Петросталь» / (В.А. Кононов, Н.В. Кононов, С.Н. Шкорохов и др.) // Новые огнеупоры – 2009. – № 4. – С. 66 – 72. 2. Хорашавин Л.В. Углеродистые огнеупоры / Л.В. Хорашавин, В.А. Пиривитари В. Огнеупоры. – 1999. – № 6. – С. 4 – 12. 3. Кривошаринтов Е.В. Белоглиняные периклазоуглеродистые огнеупоры на термоактивном полимерном связующем / (Е.В. Кривошаринтов, Н.В. Кононов, В.С. Осипчик и др.) // Огнеупоры. – 1999. – № 1. – С. 19 – 24. 4. Кашаев И.Д. Оксидноуглеродистые огнеупоры / И.Д. Кашаев. – М.: Интернет-Издания, 2000. – 268 с. 5. Пат. 79197 України, МПК<sup>С</sup> С04В 35/035, С04В 35/622, С04В 35/04, С04В 35/63. Спосіб виготовлення мінерально-вуглецевої вогнистації / Семченко Г.Д., Сметченко О.М., Савосей Т.В., заявник та патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» – № а203509095, заявл. 26.09.2005, опубл. 25.03.2007, Бюл. № 7. 6. Стрелов К.К. Технический контроль производства огнеупоров / К.К. Стрелов, И.Д. Кашаев. – М.: «Металлургия», 1986. – 240 с. 7. Винярский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винярский, М.В. Лурье. – К.: «Техніка», 1975. – 168 с. 8. Аксенов Л.М. Периклазоуглеродистые огнеупоры на комбинированном связующем / [Л.М. Аксенов, Ю.С. Ройкожин, Т.И. Золотарев и др.] // Новые огнеупоры – 2002. – № 5. – С. 14 – 18.

Поступила в редакцию 23.05.2009.

УДК 629.114.4

О.В. БЕРЕЗЮК, канд. техн. наук, ВНТУ, м. Вінниця

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТИСКУ ПРЕСУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ВІД ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

На основі планування багатофакторного експерименту отримана регресійна залежність тиску пресування твердих побутових відходів від основних параметрів впливу. Побудована поверхня реакції: графік залежності тиску пресування твердих побутових відходів від основних параметрів впливу.

On base of planning the much factorial experiment is received regression dependency of pressure pressing the hard domestic waste from the main parameters of influence. It is built surface of response dependency of pressure pressing the hard domestic waste from the main parameters of influence.

**Постановка проблеми.** Протягом 2008 р. в населених пунктах України утворилося більше 46 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ) [1]. На їх перевезення сміттєвозами до місця утилізації при мінімальній відстані 30 км, що відповідає розмірам санітарної зони, витрачається більше 45 тис. тонн пального. Для пошуку шляхів зменшення об'єму ТПВ, а значить і витрат на паливо при їх переміщенні, необхідно спочатку визначити залежність між тиском пресування ТПВ та основними параметрами процесу. Тому визначення вказаної залежності є актуальною науково-технічною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В попередніх публікаціях [2] нами виявлена залежність  $p_{\text{пр}} = f(\varepsilon, \rho)$  між тиском пресування ТПВ  $p_{\text{пр}}$  та параметрами процесу відносної деформації  $\varepsilon$  та насипної густини  $\rho$  на основі прове-

дення однофакторних експериментів, які не можуть враховувати ефекту взаємодії вказаних параметрів. Внаслідок цього згадана залежність виявилась громіздкою, а її точність не достатньо високою.

**Мета досліджень.** Тому доцільно отримати на основі планування багатофакторного експерименту залежність тиску пресування ТПВ від основних параметрів процесу відносної деформації та насипної густини.

**Методика обробки результатів багатофакторного експерименту.** Дослідження впливу відносної деформації  $\varepsilon$  та насипної густини  $\rho$  на тиск пресування ТПВ  $p_c$  при проведенні однофакторних експериментів пов'язаний із значними труднощами і об'ємами робіт. Тому, на наш погляд, доцільно провести багатофакторний експеримент для отримання рівняння регресії для функції відгуку  $p_c$  за допомогою планування багатофакторного експерименту виду  $2^2$  методом Бокса-Вільсона [3].

Попередні експерименти показали, що залежність  $p_c = f(\varepsilon, \rho)$  не може бути адекватно описана ні лінійною, ні квадратичною регресійною моделлю, тому прийнято рішення про визначення регресійної моделі від факторів впливу, піднесених до дробових степенів. Значення показників степенів отримано в результаті попередніх пошукових експериментів. Таким чином, шукане рівняння регресії виглядає так:

$$p_c = f(\varepsilon^{0,17}, \rho^{0,592}). \quad (1)$$

Вибір діапазонів варіювання факторів функції (1) проводиться таким чином, щоб будь-яка їх сукупність в передбачених планом експерименту діапазонах могла бути реалізована і не призводила до протиріч. Для цього було проведено пошукові експерименти для визначення області, в якій необхідні нам сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Всі фактори, які входять в функції (1), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки. Тому для отримання поверхні відгуку цих функцій було проведено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [3]. Встановлено наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний  $-1$ , середній  $0$ , максимальний  $+1$  та зіркові значення  $-1,414$ ;  $+1,414$ . Дійсні та кодовані значення факторів наведені в таблиці.

Таблиця

Фактори		Рівні факторів та інтервали варіювання					Інтервал варіювання
		-1,414	-1	0	+1	+1,414	
кодовані	Дійсні						
$\varepsilon_1$	$\varepsilon^{0,17}$	0	0,00556	0,019	0,03244	0,038	0,01344
$\rho_2$	$\rho^{0,592}$	19	20,67	24,7	28,73	30,4	4,03

Для цільової функції (1) планувалось отримати таку регресійну моделі 2-го порядку з ефектом взаємодії 1-го порядку:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 - b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2, \quad (2)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  – коефіцієнти регресії.

Для визначення точних оцінок  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  використовувався метод найменших квадратів [3]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (3)$$

де  $B = [b_0, b_1, \dots, b_k]$  – матриця, що містить коефіцієнти регресії;  $\Phi = F'F$  – інформаційна матриця Фішера;  $Y = [y_1, y_2, \dots, y_N]$  – матриця, що містить результати експериментів за матрицею планування;  $F$  – матриця, що містить значення факторів  $x_{ij}$  (де  $i$  – номер досліду за матрицею планування,  $j$  – номер фактора);  $k$  – кількість факторів;  $N$  – кількість дослідів за матрицею планування.

Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера [3]:

$$F = S_{\text{адк}}^2 / S_{\text{вдт}}^2 \leq [F(f_1, f_2)], \quad (4)$$

де  $S_{\text{адк}}$  – дисперсія адекватності;  $S_{\text{вдт}}$  – дисперсія відтворюваності;  $[F(f_1, f_2)]$  – критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера;  $f_1 = N - d$  – кількість ступенів вільності дисперсії адекватності;  $f_2 = n - 1$  – кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності;  $d$  – кількість значимих коефіцієнтів регресії (2);  $n$  – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Розрахункове значення критерію  $F$  порівнювалося з критичним і при  $F > [F(f_1, f_2)]$  регресійна модель вважалася неадекватною.

Дисперсія відтворюваності визначалася за формулою [3]:

$$S_{\text{відт}}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (5)$$

де  $y_i$  – результат  $i$ -го повторного дослідження;  $\bar{y}$  – середнє арифметичне значення результатів  $n$  повторних дослідів.

Кількість повторних дослідів в кожній точці плану експерименту знаходилася за формулою [4]:

$$n \geq \frac{1 + \gamma + 2n_{\text{повт}}}{1 - \gamma} = \frac{1 + (0,8 \dots 0,9) + 2 \cdot 0}{1 - (0,8 \dots 0,9)} = 9 \dots 19, \quad (6)$$

де  $\gamma$  – повірна ймовірність того, що похибка вимірювання знаходиться в допустимих межах (згідно рекомендацій авторів робіт [4, 5] при керуванні кількісною оцінкою результативної та випадкової похибок вимірювальної техніки  $\gamma = 0,8 \dots 0,9$ );  $n_{\text{повт}}$  – число вимірювань, що відкидається.

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [3]:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (7)$$

де  $y_i$  – результат  $i$ -го дослідження, проведеного за матрицею планування;  $\hat{y}_i$  – результат  $i$ -го значення дослідження, передбаченого за допомогою регресійної моделі (2).

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за  $t$ -критерієм Стюдента [3]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{\text{ад}} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (8)$$

де  $[t(f_2)]$  – критичне значення  $t$ -критерію Стюдента, яке рівне значенню

розподілу Стюдента;  $c_{i,i}$  – відповідний елемент матриці  $\Phi^{-1}$ .

Розрахункове значення критерію  $t_i$  порівнювалося з критичним і при  $t_i \leq [t(f_2)]$   $i$ -й коефіцієнт регресії вважався незначимим.

**Результати експериментальних досліджень.** Для функції відгуку тиску пресування  $p_c$  рівняння регресії згідно проведеного багатofакторного експерименту для кодованих значень має вигляд:

$$p_c = 0,3193 + 0,1655x_1 + 0,1301x_2 + 0,07268x_1x_2 - 0,00069x_1^2 + 0,002156x_2^2 \quad (9)$$

Для дійсних значень факторів рівняння регресії для функції відгуку  $p_c$  після відкидання факторів малої значимості має вигляд:

$$p_c = -0,08158 - 20,83\varepsilon^{0,17} + 0,006795\rho^{0,592} + 1,342\varepsilon^{0,17}\rho^{0,592}. \quad (10)$$

При цьому  $S_{\text{ад}}^2 = 1,515 \cdot 10^{-4}$ ;  $S_{\text{пов}}^2 = 1,314 \cdot 10^{-4}$ ;  $F = 0,867 < [F] = 3,409$ , отже регресійна модель (10) адекватна.

Квадрат коефіцієнта кореляції  $R^2 = 0,9983$  свідчить про високу точність отриманих результатів.

На рисунку показано поверхню відгуку тиску пресування  $p_c$  ТПВ в площині дійсних значень параметрів впливу: відносної деформації  $\varepsilon$  та насипної густини  $\rho$ , яка дозволяє наглядно проілюструвати вказану залежність.

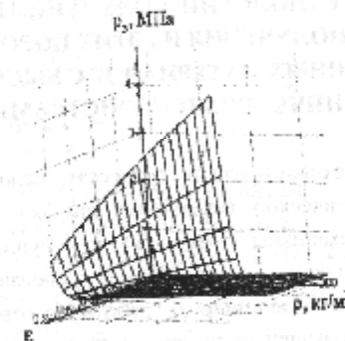


Рисунок – Поверхня відгуку тиску пресування ТПВ  $p_c = f(\varepsilon, \rho)$

**Висновки.** На основі планування багатофакторного експерименту отримано адекватну регресійну залежність тиску пресування твердих побутових лідоходів від основних параметрів впливу, яка може бути використана при розробці математичної моделі процесу пресування та методики інженерного розрахунку параметрів устаткування для пресування. Побудовано поверхню відгуку, яка дозволяє наглядно проілюструвати залежність значень тиску пресування твердих побутових лідоходів від основних параметрів впливу.

**Список літератури:** 1. Портал України з поводження з твердими побутовими відходами – Режим доступу: <http://www.ukr.waste.com.ua>. 2. Свєтляк В.І. Технічне забезпечення збирання, сортування та підготовки до переробки твердих побутових відходів: монографія / В.І. Свєтляк, О.В. Бєрєжок. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 218 с. 3. Адер Ю.П. Цифризація експеримента при пошуку оптимальних умов / Ю.П. Адер, Е.В. Маркова, Ю.В. Гринько. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Наука, 1976. – 280 с. 4. Ловаша Е.С. Электрические измерения физических величин. (Измерительные преобразователи) / Е.С. Ловаша, П.В. Ножарой. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с. 5. Новацкий П.В. Оценка погрешности результатов измерений / П.В. Новацкий, И.А. Зорграф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 114 с.

Надійшло до редакції 09.06.09

УДК 620.22.66.067.124

**Э.С. ГЕВОРЖЯН**, докт. техн. наук, УкрГАЗТ,  
**В.А. ЧИШКАЛА**, канд. техн. наук ХНУ им. Каразина

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОПОРОШКОВ $ZrO_2$ , WC, TiC И ПОЛУЧЕНИЯ ИЗ ЭТИХ ПОРОШКОВ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКИМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

В современных технологических процессах, использующих операции различного термомеханического воздействия, широкое распространение получили устройства и механизмы с элементами из корундовой керамики.

Постоянно растущие и ужесточающиеся требования к условиям эксплуатации таких элементов инициируют работы по совершенствованию изделий из керамики, повышению ее прочности, ударной вязкости и термостойкости [1, 2].

В значительной мере указанные свойства определяются микроструктурой изделий.

В последнее время обеспечение требуемой структуры в корундовой керамике достигается введением в корундовую матрицу тонкодисперсных частиц диоксида циркония и их равномерным распределением по всему объему материала.

Фазовые превращения диоксида циркония позволяют создать в корундовой керамике трансформационно-упрочненную структуру, которая в условиях повышенных термомеханических нагрузок препятствует разрушению керамики.

На основе измельченных в мельницах порошков корунда и диоксида циркония с размером частиц 1–2 мкм при спекании (в том числе под давлением) получают материал зернистостью 2–5 мкм со следующими свойствами:

- $\sigma_B^{max} \sim 600 - 900$  МПа;
- $K_{Ic} \sim 6 - 8$  МПа·м<sup>1/2</sup>;
- HRA ~ 91–93;
- $\lambda = 16 - 20$  Вт/м·К;
- $T_{прек} > 1000$  °С.

Как правило, режущие материалы из керамики используются в режиме непрерывного течения на заключительных стадиях металлообработки (получистой и чистовой).

На начальных стадиях резания при прерывистом течении и ударных нагрузках используется инструмент из быстрорежущих сталей и твердых сплавов с характеристиками:

- $\sigma_B^{max} \sim 1800 - 2500$  МПа;
- $K_{Ic} \sim 4 - 6$  МПа·м<sup>1/2</sup>;
- HRA ~ 85–91;
- $\lambda = 20 - 50$  Вт/м·град;
- $T_{прек} = 600 - 900$  °С.

Использование для изготовления керамики порошков с наноразмерными частицами позволяет при спекании получать материалы с зернами размером 50–300 нанометров и заметно более высокими механическими свойствами (пределом прочности на изгиб более 2000 МПа и ударной вязкостью  $K_{Ic} > 15 - 20$  МПа·м<sup>1/2</sup>) [3, 4].

Керамические материалы с такими параметрами могут успешно заме-