

## НАГРІВАННЯ ПОРОШКІВ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ

Кравченко Є. О., аспірант, e-mail: [odessaevgeniy@gmail.com](mailto:odessaevgeniy@gmail.com)

Бошкова І. Л., д.т.н., проф, e-mail: [boshkova.irina@gmail.com](mailto:boshkova.irina@gmail.com)

Одеський національний технологічний університет

**Актуальність дослідження.** Одна з розвинених областей застосування мікрохвильового випромінювання – спікання керамічних матеріалів [1]. Зазначається [2], що висока швидкість нагріву в мікрохвильовому полі дозволяє отримувати керамічні та композиційні матеріали з тонкою та однорідною мікроструктурою, що мають, як наслідок, підвищену міцність, твердість, тріщиностійкість. Технічна кераміка поєднує матеріали, що застосовуються в різних галузях сучасної техніки [3]. Технічна кераміка – це порівняно новий вид матеріалів, проте темпи зростання її випуску (від 15 до 25% щорічно) набагато перевищують відповідні показники для сталі, алюмінію та інших металів. Спікання кераміки як один з найважливіших фізико-хімічних процесів вимагає створення умов для активації дифузії та розчинення фаз, покращення структурних та міцнісних властивостей, і в цьому відношенні перспективним є метод мікрохвильового нагріву, застосування якого також здатне призвести до суттєвих знижень енергетичних витрат у порівнянні з традиційними методиками [4].

**Метою досліджень** є вивчення особливостей процесів, що протікають при мікрохвильовому нагріванні порошоків карбиду кремнію, та оцінка енергоефективності перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію шару матеріалу.

**Основні матеріали досліджень.** Для отримання даних за тепловим ККД мікрохвильової камери досліджувалось нагрівання пластини з пресованого порошкового карбиду кремнію товщиною  $\delta=1,0$  см, дисперсність (фракція) частинок 125 мкм. Сполучною речовиною служив полівініловий спирт. Маса зразка складала 0,165 кг. Вихідна потужність магнетрону  $P=800$  Вт. Вимірювання проводилися на поверхні зразка та на його дні. Визначено, що дно зразка, ізольоване від навколишнього середовища під час нагрівання, нагрівається інтенсивніше.

Таблиця 1 - Результати теплових розрахунків нагріву порошка карбиду кремнію

| №  | $\tau$ , с | $t_{\text{пов}}$ , °С | $(\Delta t/\tau)_{\text{пов}}$ , К/с | $t_{\text{дно}}$ , °С | $(\Delta t/\tau)_{\text{дно}}$ , К/с | КПД камери, % |
|----|------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------|
|    | 1          | 2                     | 3                                    | 4                     | 5                                    | 6             |
| 1  | 0          | 20                    | -                                    | 20                    | -                                    | -             |
| 2  | 20         | 27,3                  | 0,4                                  | 33,2                  | 0,7                                  | 11,1          |
| 3  | 40         | 34,2                  | 0,35                                 | 49,1                  | 0,8                                  | 7,8           |
| 4  | 60         | 45,6                  | 0,55                                 | 58,3                  | 0,45                                 | 4,6           |
| 5  | 80         | 58,5                  | 0,65                                 | 72,2                  | 0,7                                  | 6,9           |
| 5  | 100        | 71,2                  | 0,65                                 | 94,4                  | 1,1                                  | 11            |
| 6  | 120        | 95,1                  | 1,2                                  | 109,1                 | 0,75                                 | 7,3           |
| 7  | 140        | 115,3                 | 1,0                                  | 128,5                 | 0,95                                 | 9,4           |
| 8  | 160        | 138,2                 | 1,25                                 | 154,7                 | 1,3                                  | 13            |
| 9  | 180        | 156,6                 | 0,9                                  | 169,4                 | 0,75                                 | 7,3           |
| 10 | 200        | 181,4                 | 1,25                                 | 205,3                 | 1,95                                 | 17,7          |
| 11 | 220        | 198,8                 | 0,85                                 | 217,2                 | 0,6                                  | 5,9           |
| 12 | 240        | 204,3                 | 0,3                                  | 246,3                 | 1,45                                 | 14,4          |
| 13 | 260        | 215,7                 | 0,55                                 | 269,4                 | 1,15                                 | 11,6          |
| 14 | 280        | 248,5                 | 1,65                                 | 320,3                 | 2,55                                 | 25,2          |

Також було помічено, що, починаючи з певного температурного рівня (для даного зразка – при температурі близько 220 °С), темп нагрівання посилювався, що можна пояснити збільшенням значення діелектричної проникності карбіду кремнію. Результати теплових розрахунків наведені у табл. 1.

Значення ККД камери показують, що енергія мікрохвильового випромінювання лише частково перетворюється на внутрішню енергію матеріалу, що пов'язано з малим завантаженням камери. Збільшення маси завантаження в 5 разів призвело до збільшення ККД до 84 %. На наступному етапі роботи досліджувалось МХ нагрівання різних фракцій порошку карбіду кремнію (рис. 1).



Рисунок 1 – Фракції порошку карбіду кремнію

Після проведення досліджень виконані теплові розрахунки, результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Теплові характеристики нагрівання різних фракцій порошку карбіду кремнію

| Фракція  | F100  | F240  | F600  | F1200 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Кінцева температура, °С                        | 85    | 71    | 75    | 46    |
| Маса, г  | 4,87  | 4,84  | 4,85  | 4,87  |
| Кількість теплоти, витрачена на нагрівання, Дж | 197,9 | 171,3 | 171,7 | 87,7  |
| Тривалість нагріву, с                          | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Середня потужність нагріву, Вт                 | 1,79  | 1,55  | 1,56  | 0,79  |

Отримано, що, якщо рівномірність нагріву підвищується зі збільшенням дисперсності, ефективність перетворення мікрохвильової енергії знижується.

**Висновок.** Нагрівання порошків карбіду кремнію різної дисперсності для фракцій F100, F240, F600, F1200 у мікрохвильовому полі довело, що зменшення розміру частинок призводить до зниження величини поглинання мікрохвильової енергії. Так, через 170 с нагрівання в мікрохвильовій камері температура зразка F100 становила 82 °С, F240 – 73 °С, F1200 – 65 °С. Збільшення дисперсності порошків сприяє зниженню температурної нерівномірності за об'ємом зразків.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Microwave heating controlled reactive melt infiltration for graphite-Si-SiC ceramics manufacturing / L. Cornolti et al. Journal of the American Ceramic Society. 2018. URL: <https://doi.org/10.1111/jace.16124>.
2. The Use of Microwave Drying Process to the Granular Materials / F. I. Hathazi et al. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2019. Vol. 10, no. 11. URL: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0101104>.
3. Advanced Technical Ceramics. Elsevier, 1989. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-654630-9.x5001-3>.
4. Rhee S. Mikrowellenprozeßtechnik für keramische Werkstoffe der Mikrosystemtechnik / S. Rhee. 2002. URL: <http://d-nb.info/1198219343/34>.