

УДК: 620.22

DOI: 10.20535/iwccmm2026358158

## ОСОБЛИВОСТІ СПІКАННЯ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОКЕРАМІКИ НА ОСНОВІ БІОГЕННОГО ГІДРОКСИПАТИТУ ТА ОКСИДУ ЦИРКОНІЮ

Чудінович О.В.<sup>1</sup>, Синиця А.О.<sup>2</sup>, Сич О.Є.<sup>3</sup>, Євич Я.І.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник відділу функціональної кераміки на основі рідкісних земель, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>PhD, старший науковий співробітник відділу функціональних матеріалів медичного призначення, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Кандидат технічних наук, завідувач відділу функціональних матеріалів медичного призначення, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, Україна

<sup>4</sup>Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу фазових перетворень, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, Україна  
e-mail: 1. [chudinovych\\_olia@ukr.net](mailto:chudinovych_olia@ukr.net); 2. [synytsia.ann@gmail.com](mailto:synytsia.ann@gmail.com); 3. [lena\\_sych@ukr.net](mailto:lena_sych@ukr.net); 4. [yan\\_yevich@ukr.net](mailto:yan_yevich@ukr.net)

**Анотація.** Робота присвячена дослідженню особливостей спікання та фізико-механічних властивостей біокераміки на основі біогенного гідроксиapatиту та оксиду цирконію з різним співвідношенням компонентів (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100), отриманої при 1000 °С. Встановлено суттєвий вплив складу на усадку біокераміки, яка зростає зі збільшенням вмісту оксиду цирконію. Показана ізотропність лінійної усадки зразків. Загальна пористість біокераміки на основі біогенного гідроксиapatиту та оксиду цирконію становить 32-34%, не змінюється при спіканні і не залежить від складу. При цьому механічні властивості (міцність на стиск, розтяг та модуль Юнга) в 2-3 рази перевищують властивості чистого біогенного гідроксиapatиту та оксиду цирконію і є співставними з природною кісткою, що робить їх перспективними для медичного застосування.

**Ключові слова:** гідроксиapatит, оксид цирконію, усадка, густина, пористість, біокераміка

Біокераміка на основі гідроксиapatиту (ГА) та оксиду цирконію (ZrO<sub>2</sub>) є перспективним напрямом сучасного біоматеріалознавства, оскільки поєднує біологічну активність ГА з механічною міцністю ZrO<sub>2</sub> та може бути використана в ортопедії, травматології та стоматології [1-2]. При отриманні таких матеріалів важливим є контроль усадки при спіканні для отримання виробів необхідної форми та розмірів.

Тому метою даної роботи було дослідити вплив складу на усадку при спіканні та фізико-механічні властивості біокераміки.

Вихідними матеріалами був біогенний ГА (БГА), отриманий відпалом кісток великої рогатої худоби, а також ZrO<sub>2</sub>, отриманий гідротермальним мікрохвильовим методом з ZrOCl<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O та NaOH. До суспензії ZrO<sub>2</sub> додавали необхідну кількість БГА (таблиця 1), перемішували на магнітній мішалці протягом 120 год., центрифугували, ліофізували, пресували циліндричні зразки при тиску 150 МПа та спікали при 1000 °С.

Усадку за масою, діаметром, висотою на об'єм, а також уявну густину розраховували на основі вимірювань геометричних параметрів зразків та їх маси до та після спікання. Істинну густину вимірювали методом гелієвої пікнометрії (AccuPyc II 1340, Micromeritics) згідно ISO 12154:2014. На основі величин густин розраховували загальну пористість зразків. Механічні властивості оцінювали за допомогою випробувальної машини Ceram Test System.

Таблиця 1 – Параметри спікання та властивості зразків біокераміки

Параметри		Матеріал				
		БГА	75БГА/25ZrO <sub>2</sub>	50БГА/50ZrO <sub>2</sub>	25БГА/75ZrO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>
Усадка, %	за діаметром	0,2	0,8	2,1	3,5	8,6
	за висотою	0,3	1,2	2,1	3,8	7,2
	об'ємна	0,7	2,4	6,3	11,9	23,7
Втрата маси, %		2,1	4,5	4,3	4,9	5,8
Загальна пористість, %		34	34	32	33	38
Міцність на стиск, МПа		45	62	92	109	34
Міцність на розтяг, МПа		10	21	20	38	7
Модуль Юнга, ГПа		4	6	9	10	3

Під час спікання БГА та ZrO<sub>2</sub>, а також керамічні композити на їх основі зазнають втрати маси та усадки (таблиця 1). Об'ємна та лінійна усадка, а також втрата маси зразків композитів зростають зі збільшенням вмісту ZrO<sub>2</sub>, що пов'язано з більшою усадкою чистого ZrO<sub>2</sub> у порівнянні з БГА. Близькі значення лінійної усадки за діаметром та висотою для всіх керамічних композитів свідчать про ізотропний характер процесу спікання. Слід зазначити, що загальна пористість керамічних композитів не змінюється під час спікання, не залежить від співвідношення компонентів і є подібною до пористості чистого БГА. Водночас пористість чистого ZrO<sub>2</sub> зменшується з 46 до 38 % після спікання при 1000 °С, що пов'язано з ущільненням та фазовими перетвореннями. Не зважаючи на стабільність пористості, механічні властивості отриманих зразків біокераміки на основі БГА та ZrO<sub>2</sub> зростають зі збільшенням вмісту оксиду цирконію, при цьому їх значенням у 2-3 рази перевищують механічні властивості чистих спечених БГА та ZrO<sub>2</sub>. Стабільність пористості керамічних композитів, а також їх механічні властивості можуть бути пов'язані зі стабілізуючим впливом БГА, який перешкоджає фазовим перетворенням ZrO<sub>2</sub>. При цьому оксид цирконію у складі композитів зберігає тетрагональну фазу, що суттєво впливає на механічні властивості біокераміки.

### ВИСНОВКИ

Встановлено, що при спіканні біокераміки на основі біогенного гідроксиапатиту на та оксиду цирконію з різним співвідношенням компонентів при 1000 °С лінійна усадка зразків є ізотропною та зростає зі збільшенням вмісту діоксиду цирконію. Показано, що загальна пористість (32-34 %) не залежить від співвідношенням компонентів. Механічні властивості керамічних композитів в 2-3 рази перевищують властивості їх компонентів і є співставними з природною кісткою, що робить їх перспективними для медичного застосування.

**Подяка.** Автори висловлюють щирю подяку Лабораторії наноструктур Інституту фізики високих тисків ПАН за проведення досліджень в рамках Договору про наукову співпрацю.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Antoniac, I. (2019) *Bioceramics and Biocomposites: From Research to Clinical Practice*. Wiley-VCH: Weinheim, Germany.
2. Barabás, R., Fort, C.I., Turdean, G.L., Bizo, L. (2021) Influence of HAP on the morpho-structural properties and corrosion resistance of ZrO<sub>2</sub>-based composites for biomedical applications. *Crystals*. 11(2), 202. <https://doi.org/10.3390/cryst11020202>