

УДК 67.017

Формирование пористой матрицы для остеозамещения на основе ZrO₂Чжао Цзяхао¹, А.С. Буяков^{1,2}, Е.И. Сенькина²

Научный руководитель: к.ф.-м.н., А.С. Буяков

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г. Томск, Академический пр., 2/4, 634055E-mail: elena.senkina.1995@mail.ru**Formation of porous matrix for osteo-replacement based on ZrO₂**¹Zhao Jiahao, ^{1,2}A.S. Buyakov. ²E.I. Senkina

Scientific Supervisor: Ph.D., A.S. Buyakov.

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050²Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, Akademicheskii str., 2/4, 634055E-mail: elena.senkina.1995@mail.ru

Abstract. During the study porous ceramic scaffolds were obtained. The volumetric shrinkage after sintering amounted to about 50 %. The analysis of microstructural characteristics of the samples revealed a bimodal distribution of pores: macropores duplicate the morphology of pore-forming particles, and micropores are formed due to the fusion of interparticle voids and channels during the pressing process. The pore space is not through and has an isolated structure. According to the data of mechanical tests, the strength and modulus of elasticity of the investigated samples are in the range of values of strength and modulus of elasticity of bone tissue.

Key words: zirconium dioxide, strength, porous ceramics, osteo-replacement.

Введение

Оксид циркония, а также композиты на его основе, находят широкое применение в разных отраслях промышленности. Это объясняется уникальным сочетанием физико-механических и химических свойств этих материалов: высокая температура плавления, высокая прочность, износостойкость и биологическая инертность. Сочетание перечисленных характеристик позволяет циркониевой керамике занять свою нишу и в биомедицинской отрасли, в основном в дентальном и остеопротезировании [1]. При производстве пористой керамики, широко используемой в остеозамещении, возникают трудности с выбором порообразователя. Это связано с тем, что форма, размер, природа происхождения порообразующих частиц может напрямую влиять на физико-механические свойства материала. Целью данного исследования стало определение механизма управления структурно-зависимыми характеристиками керамик для остеозамещения путем контролируемого порообразования.

Для получения материала с необходимыми свойствами часто используют модифицирующие компоненты. Например, с помощью введения различных порообразователей возможно приближение не только механических свойств циркониевой керамики к свойствам кости, но и придание керамики структурного сродства с костным матриксом, благоприятно влияющим на осети интеграцию [2].

Материалы и методы исследования

Исходные порошковые составы исследуемых пористых керамик были подготовлены путем механического смешивания порошка ZrO₂ + 3 mol. % Y₂O₃ (Y-TZP) (Tosoh, Япония) с порообразующими частицами. В качестве порообразователей были выбраны частицы канифоли оскольчатой формы (*irr – irregular*) со средним размером 400 мкм и частицы

сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) сферической формы (*sph* – *spherical*) со средним размером 60, 150 и 300 мкм. Содержание частиц составляло 50 об. % от общего объема смеси. Прессование осуществлялось в стальной пресс-форме при давлении 130 МПа. Удаление порообразующих частиц происходило путем отжига компактов в воздушной печи при температуре 1100 °С с выдержкой 1 час, спекание - при температуре 1600 °С, скорости нагрева 160 °С/час и с выдержкой в 1 час. Прочностные характеристики были исследованы путем радиального сжатия цилиндрических образцов и трехточечного изгиба образцов в виде балок. Структура поверхности керамики и размер пор были исследованы с помощью растровой электронной микроскопии (далее РЭМ).

Результаты

Микроструктура используемых в исследовании порообразующих частиц представлена на рис. 1.

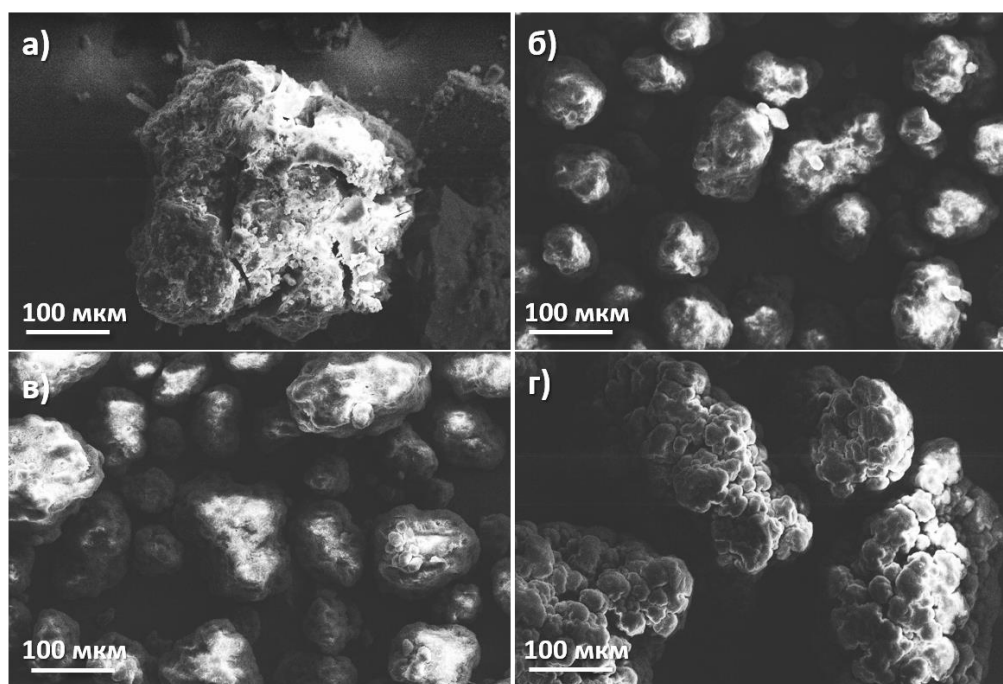


Рис. 1. РЭМ-изображения микроструктуры порообразующих частиц а) канифоли (*irr*) и СВМПЭ: б) *sph* 60, в) *sph* 150 и г) *sph* 300

Усадка образцов после спекания составила порядка 50 %, что привело к уменьшению размера пор относительно первоначального размера порообразующих частиц (таблица 1).

Таблица 1

Размеры пор и пористость образцов после спекания

Состав	Размеры пор, мкм	Пористость образцов после спекания, %
<i>irr</i>	156,8 ± 95,6	62
<i>sph</i> 60	57,85 ± 26,55	74
<i>sph</i> 150	97,71 ± 57,58	72
<i>sph</i> 300	190,21 ± 98,67	73

Полученные физико-механические характеристики указывают на соответствие значений прочности образцов с костной тканью согласно литературным данным (таблица 2) [3].

Физико-механические характеристики образцов

Радиальное сжатие		
Состав	Прочность на растяжение, σ , МПа	Модуль упругости, E, МПа
irr	28,07 ± 3,15	73,16 ± 3,38
sph 60	41,36 ± 0,86	75,97 ± 4,92
sph 150	25,62 ± 5,06	60,40 ± 4,56
sph 300	11,90 ± 1,72	32,38 ± 5,03
Трехточечный изгиб		
Состав	Предел прочности, σ , МПа	Модуль упругости, E, МПа
irr	116,71 ± 17,46	270,39 ± 23,52
sph 60	64,50 ± 11,18	298,3 ± 19,36
sph 150	67,99 ± 9,86	250,06 ± 59,58
sph 300	42,50 ± 6,54	151,74 ± 51,84
Костная ткань (кортикальная)	80-200	4000–22000
Костная ткань (трабекулярная)	1,2-80	20-4000

Для образцов со сферической формой пор характерно уменьшение прочности и модуля упругости с ростом размера пор. Поскольку поры в образцах *irr* характеризуются нерегулярной формой с множеством концентраторов напряжений, унаследованной от введенных в исходный порошковый состав частиц канифоли, подверженной механической активации, следовало бы ожидать меньшие прочностные характеристики, по сравнению с керамиками, поры в которых получены путем введения сферических частиц СВМПЭ в исходные порошковые составы. Обнаруженный противоположный результат может быть обусловлен хрупкостью частиц канифоли, разрушающихся в процессе прессования порошковых масс, в отличие от СВМПЭ, деформируемого пластически. Вероятно, деформация частиц СВМПЭ могла стать причиной формирования микромеханически-нестабильной структуры керамик с множеством микротрещин, сформированных при релаксации напряжений в частицах порообразователя при одноосном прессовании порошковых масс.

Работы выполнены в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2022-0002.

Список литературы

1. Piconi, C., Porporati, A.A. Bioinert Ceramics: Zirconia and Alumina // Handbook of Bioceramics and Biocomposites. – 2016. – P. 59–89.
2. Soon G., Pingguan-Murphy B., Lai K.W., Akbar S.A. Review of zirconia-based bioceramic: Surface modification and cellular response // Ceramics International. – 2016. – Vol. 42, № 11. – P. 12543–12555.
3. Morgan E.F., Unnikrisnan G.U., Hussein A.I. Bone Mechanical Properties in Healthy and Diseased States // Annual Review of Biomedical Engineering. – 2018. – Vol. 20, № 1. – P. 119–143.