

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Сборник материалов
XVI Российской научной
студенческой конференции**

Томск, 17–20 апреля 2018 г.



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2018

Прочность при изгибе пористого композита ZrO_2 – MgO для остеозамещения*

Д.А. Ткачев¹, А.С. Буяков²

¹Томский политехнический университет, г. Томск

²Томский государственный университет, г. Томск

Среди керамических материалов особый интерес представляет композит на основе диоксида циркония (ZrO_2) и оксида магния (MgO). Данный материал обладает высокой коррозионной стойкостью и биологической совместимостью, что позволяет использовать его в качестве остеозамещающего [1]. Важную роль, помимо биологической и химической совместимости, играют прочностные характеристики материала, которые должны соответствовать характеристикам костной ткани. Определение прочностных свойств керамик играет значимую роль в процессе разработки материала для остеозамещения.

Целью настоящей работы является оценка влияния концентрации оксида магния (MgO) на прочностные характеристики пористого композита $ZrO_2(MgO) - MgO$ при трехточечном изгибе. Образцы имели форму балок со средней длиной 34 мм, и сечением со средней высотой 3 мм, шириной 5,5 мм. Концентрация оксида магния составлял 0, 25, 50, 75 и 100 мас.%. Для исследуемых образцов определены предел прочности при трехточечном изгибе и модуль упругости.

Образцы были изготовлены методом одноосного холодного прессования с помощью гидравлического пресса в закрытой металлической пресс-форме при давлении 100 МПа, без добавления связующего. Исходными материалами являлись керамические порошки: ZrO_2 , стабилизированный 3 мол.% MgO , MgO и сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) в качестве порообразующей добавки, в объеме 50 % от каждого состава.

Спекание проводилось в воздушной атмосфере при температуре 1600 °С с различной длительностью высокотемпературной выдержки. Для удаления СВМПЭ перед спеканием был проведен отжиг с изотермической выдержкой в течении часа при температуре 300 °С.

Механические испытания по определению прочности при трехточечном изгибе проводились на испытательной машине Instron E1000, скорость нагружения испытываемых образцов составила 0,3 мм·мин⁻¹.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках соглашения № 14.584.21.0026 (RFMEFI58417X0026).

Зависимости предела прочности и модуля Юнга от концентрации MgO в составе композита при варьируемом времени выдержки (рис. 1) имеет нелинейный характер и объясняется фазовыми переходами в системе $\text{ZrO}_2 - \text{MgO}$: стабилизацией кубической фазы ZrO_2 с увеличением времени высокотемпературной выдержки, а также достижением предела растворимости MgO с увеличением концентрации [2].

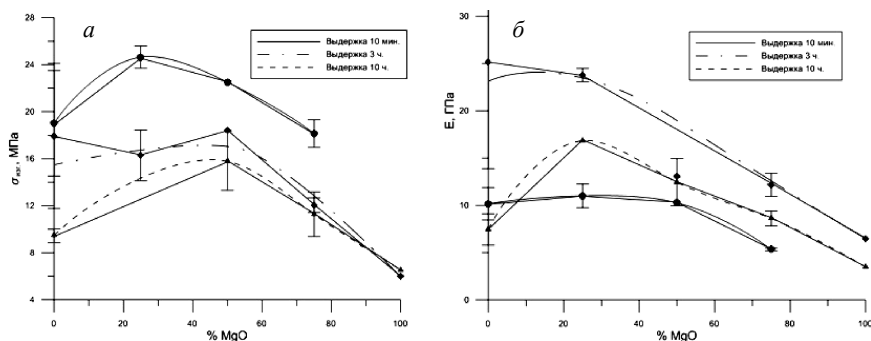


Рис. 1. Зависимость предела прочности (а) и модуля Юнга (б) композита $\text{ZrO}_2(\text{MgO}) - \text{MgO}$ от концентрации MgO с варьируемым временем выдержки

При концентрациях MgO до 10 % при температуре 1600 °С присутствует тетрагональная фаза ZrO_2 , которой свойственны локально протекающие мартенситные превращения $t \rightarrow m$, из тетрагональной фазы в моноклинную, способствующие увеличению объема зоны деформации, а вследствие чего – понижению напряжений в острие трещины [3, 4]. Затем, после достижения концентрации 20 % MgO , достигнув предела растворимости в кубической решетке ZrO_2 , выделяется в виде отдельной фазы [5]. Присутствие только механической смеси кубической фазы ZrO_2 и MgO приводит к уменьшению прочности и модуля упругости материала при изгибе, так как значение прочности при изгибе MgO меньше, чем ZrO_2 , о чем свидетельствуют полученные результаты, отображенные на рис. 1, а.

Согласно полученным результатам, предел прочности исследуемых образцов керамики $\text{ZrO}_2(\text{MgO}) - \text{MgO}$ возрастает с увеличением концентрации MgO до максимального значения 24 МПа, после достижения предела растворимости, который соответствует 20 % концентрации MgO , снижается, минимальное значение составляет 6 МПа, модуль упругости возрастает до 36 ГПа до достижения концентрации оксида магния равной 20 %, и достигает минимального значения 5 ГПа при последующем увеличении концентрации MgO .

Таким образом, экспериментально полученные результаты механических характеристик исследуемого композита на основе ZrO_2 соотносимы с приводимыми в литературе значениями для костной ткани. Так, значения предела прочности губчатой костной ткани приводятся в пределах 7–22 МПа [6], модуль упругости для компактной костной ткани варьируется в пределах 4–22 ГПа [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Buyakov A. et al.* Porous Ceramic Composite $ZrO_2(MgO)$ – MgO for Osteoimplantology // Abstracts of the International Conference on Physics of Cancer: Interdisciplinary Problems and Clinical Applications. – Tomsk, March 22–25, 2016.
2. *Viechnicki D., Stubican V.S.* Phase Studies Within the System ZrO_2 – MgO // *Nature*. – 1965. – V. 206. – No. 4990. – P. 1251.
3. *Головин Ю.И.* и др. Синтез и характеристика физико-механических свойств стабилизированной циркониевой керамики из природного бадделеита // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 17. – №. 3.
4. *Buyakova S.P. et al.* Structure and properties of ZrO_2 – MgO powders // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – V. 123. – No. 1. – P. 012040.
5. *Grigor'ev M.V., Savchenko N.L., Buyakova S.P., & Kul'kov S.N.* Inelastic behavior of ceramics with hierarchical pore structure under compression // *Technical Physics Letters*. – 2017. – V. 43(8). P. 723–726.
6. *Olson S.A.* Designing a biomechanics investigation: choosing the right model // *J. Orthop. Trauma*. – 2012 Dec. – No. 26(12). – P. 672–677.
7. *Currey J.D.* Mechanical properties of vertebrate hard tissues // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*. – 1998. – V. 212. – No. 6. – P. 399–411.

Tkachev D.A., Buyakov A.S. Bending strength of porous ZrO_2 – MgO composite for bone replacement

Ткачев Дмитрий Александрович, студент; d.tkachev11@gmail.com;

Буяков Аlesia Сергеевич, аспирант; alesbuyakov@gmail.com