

**ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА $ZrO_2 - MgO$ ПРИ
ТРЕХТОЧЕЧНОМ ИЗГИБЕ**

Д.А.Ткачев, А.С. Буяков

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор С.Н. Кульков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Email: d.tkachev11@gmail.com

STRENGTH PROPERTIES OF POROUS COMPOSITE $ZrO_2 - MgO$ AT THREE-POINT BENDING

D.A.Tkachev, A.S.Buyakov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.N.Kulkov

National Research Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

Email: d.tkachev11@gmail.com

***Abstract.** The following research represents experimental data on strength characteristics of porous $ZrO_2(MgO) - MgO$ composite. The dependence of obtained values on the concentration of MgO and sintering time was investigated. Bending strength and Young's modulus increase with increasing concentration of magnesium oxide. After reaching the concentration of 20% of MgO the mechanical parameters decreases, what is related to phase transformations in the material.*

Рассматриваемый в работе композит на основе диоксида циркония (ZrO_2) и оксида магния (MgO) известен как материал, обладающий 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. Один из видов нагружения, которому будет подвергаться материал в процессе эксплуатации – изгиб. Поэтому, в процессе разработки материала для остеозамещения необходимо определить его способности выдерживать изгибающие напряжения.

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°C с различной длительностью высокотемпературной выдержки. Для удаления СВМПЭ перед спеканием был проведен отжиг с изотермической выдержкой в течении часа при температуре 300°C.

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

Графики изменения предела прочности и модуля Юнга при варьировании концентрации MgO в составе композита и различном времени выдержки представлены на рисунке 1 а, б.

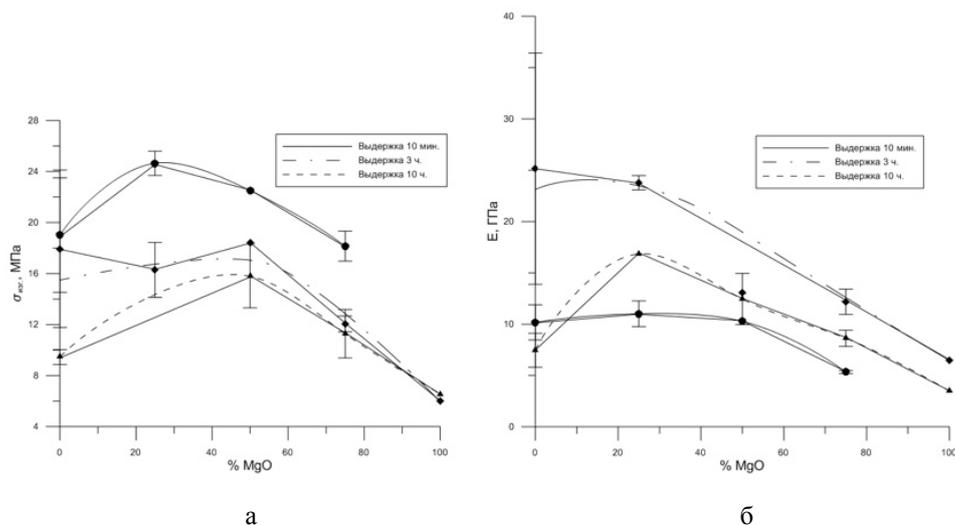


Рис. 1 – Зависимость предела прочности (а) и модуля Юнга (б) композита $ZrO_2(MgO) - MgO$ от концентрации MgO с варьируемым временем выдержки

Зависимость имеет нелинейный характер и объясняется фазовыми переходами в системе $ZrO_2 - MgO$ (рис. 2): стабилизацией кубической фазы ZrO_2 с увеличением времени высокотемпературной выдержки, а так же достижением предела растворимости MgO с увеличением концентрации [2].

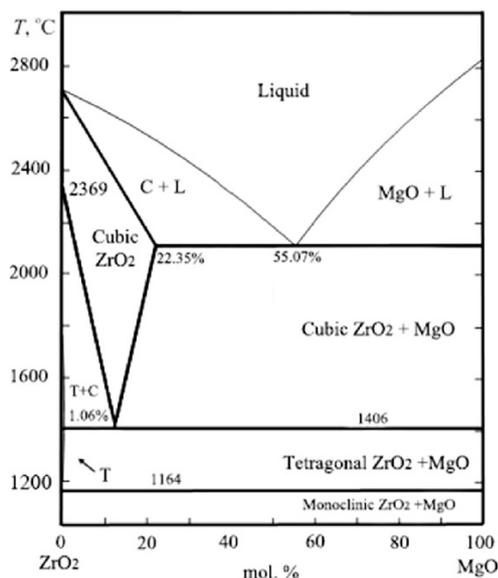


Рис. 2 – диаграмма состояний системы $ZrO_2 - MgO$

При концентрациях MgO до 10 % при температуре 1600°C присутствует тетрагональная фаза ZrO₂, которой свойственны локально протекающие мартенситные превращения t→m, из тетрагональной фазы в моноклинную, способствующие увеличению объема зоны деформации, и в следствие чего, понижению напряжений в острие трещины [3, 4]. Затем, после достижения концентрации 20% MgO, достигнув предела растворимости в кубической решетке ZrO₂, выделяется в виде отдельной фазы [5]. Присутствие только механической смеси кубической фазы ZrO₂ и MgO приводит к уменьшению прочности и модуля упругости материала при изгибе, так как значение прочности при изгибе MgO меньше, чем ZrO₂, о чем свидетельствуют полученные результаты, отображенные на рисунке 1-а.

Согласно полученным результатам, предел прочности исследуемых образцов керамики ZrO₂(MgO) – 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 ZrO₂ можно соотнести с приводимыми в литературе значениями для костной ткани. Для губчатой костной ткани значения предела прочности приводятся в пределах 7-22 МПа [6], для компактной костной ткани модуль упругости варьируется в пределах 4-22 ГПа [7].

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buyakov A., et al. Porous Ceramic Composite ZrO₂(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 ZrO₂-MgO //Nature. – 1965. – Т. 206. – №. 4990. – С. 1251.
3. Головин Ю. И. и др. Синтез и характеристика физико-механических свойств стабилизированной циркониевой керамики из природного бадделеита //Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 17. – №. 3.
4. Buyakova S. P. et al. Structure and properties of ZrO₂-MgO powders //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 123. – №. 1. – С. 012040.
5. Grigor'ev, M. V., Savchenko, N. L., Buyakova, S. P., & Kul'kov, S. N. (2017). Inelastic behavior of ceramics with hierarchical pore structure under compression. Technical Physics Letters, 43(8), 723-726.
6. Olson S.A. Designing a biomechanics investigation: choosing the right model // J Orthop Trauma. – 2012 Dec. – № 26(12). – P. 672–7.
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. – Т. 212. – №. 6. – С. 399-411.