

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОЗИТОВ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--BaTiO}_3$

И.А. МАРТЕМЬЯНОВА¹, И.А. ФОТИН², А.С. БУЯКОВ^{1,2}, С.П. БУЯКОВА^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Email: iag25@tpu.ru

Проблема замещения костных дефектов является актуальной задачей современной медицины. Поиск новых материалов, обладающих биологической, биомеханической и структурной совместимостью, является ключевым направлением в развитии остеопротезирования [1]. Материал для замещения кости должен быть биоинертным, не вызывать воспалительных реакций и отторжения, иметь механические свойства, близкие к костной ткани, и обладать пористой структурой.

Керамика из оксида алюминия (Al_2O_3) обладает рядом преимуществ: биологическая инертность, высокая прочность, нетоксичность. Однако ее хрупкость ограничивает ее применение в качестве материала для остеопротезирования [2]. Титанат бария (BaTiO_3) — это пьезоэлектрический материал. Переключение доменов под воздействием внешних механических напряжений способно привести к возникновению внутренних микронапряжений, в свою очередь, способных оказать влияние на распространяющуюся в хрупкой матрице трещину [3].

Целью исследования является исследование влияния BaTiO_3 на механические параметры керамического композита на основе Al_2O_3 . Для проведения исследования было взято несколько составов смеси Al_2O_3 и BaTiO_3 с различным соотношением компонентов. Образцы были получены методом холодного одноосного прессования смесей керамических порошков, спеченных при температуре 1400 °С в воздушной печи.

Для керамики, которая имеет хрупкую природу, определение вязкости разрушения имеет ключевое значение для оценки ее прочности и долговечности. Существуют различные стандартные методы испытаний для определения вязкости разрушения керамики при комнатной температуре, которые используют различные принципы и методики. В данной работе исследована прочность при трехточечном изгибе, так же определена трещиностойкость методом трехточечного изгиба балки с v-образным надрезом, определена прочность при радиальном сжатии.

Рисунок 1 представляет собой микрофотографию разрушенного образца керамики, имеющего форму балки с v-образным надрезом. Это изображение дает информацию о микроструктуре материала и особенностях его разрушения. Проведя анализ микрофотографии в программе, было оценен средний размер зерна в керамике, который составляет 159,61 мкм. Так же на микрофотографии четко видны белые включения, расположенные в матрице керамического материала. Эти включения представляют собой частицы BaTiO_3 .

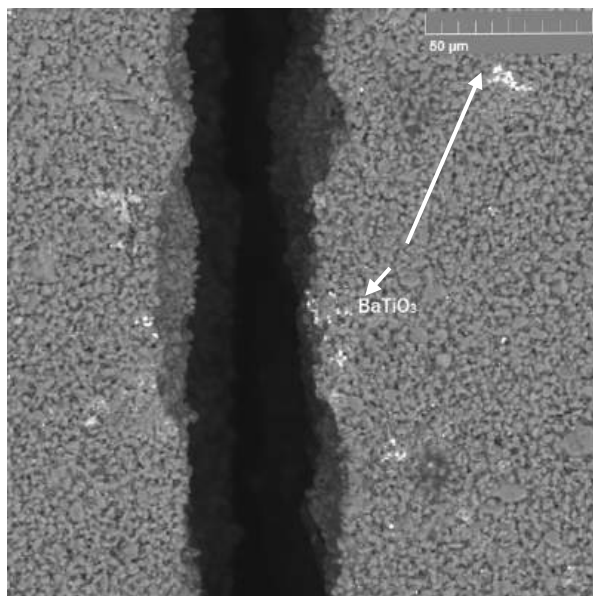


Рисунок 1. Микрофотография исследуемого композита после испытания на трехточечный изгиб

На рисунке 2 показана зависимость предела прочности при радиальном сжатии керамических образцов в форме цилиндров от концентрации титаната бария. Видно, что при росте концентрации BaTiO_3 до 3 % происходит рост прочности относительно корунда, потом рост снижается. Таким образом, установлено лучшее соотношение компонентов: композит с содержанием 97 % Al_2O_3 и 3 % BaTiO_3 , он продемонстрировал наибольшую прочность на растяжение. По сравнению с исходным материалом, этот состав демонстрирует увеличенную прочность при растяжении в 3,6 раза.

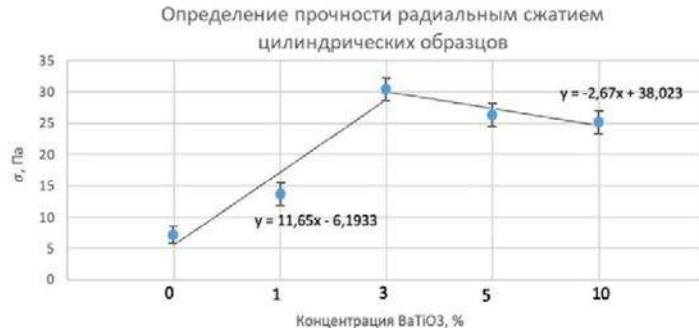


Рисунок 2. Зависимость прочности при радиальном сжатии исследуемых керамик от содержания BaTiO_3

На рисунке 3 представлена зависимость предела прочности керамического материала от концентрации титаната бария. График демонстрирует, что добавление титаната бария в композит, значительно увеличивает его прочность при трехточечном изгибе. Исследование показало, что существует оптимальная концентрация титаната бария, при которой предел прочности достигает максимального значения. В данном случае, оптимальным составом также оказался 97 % Al_2O_3 и 3 % BaTiO_3 . Результаты исследования показали, что композит с таким составом в 4,8 раза прочнее, чем чистый оксид алюминия, спеченный в тех же условиях. Это говорит о том, что добавление титаната бария существенно повышает прочность керамики и делает ее более устойчивой к разрушению при механических нагрузках.

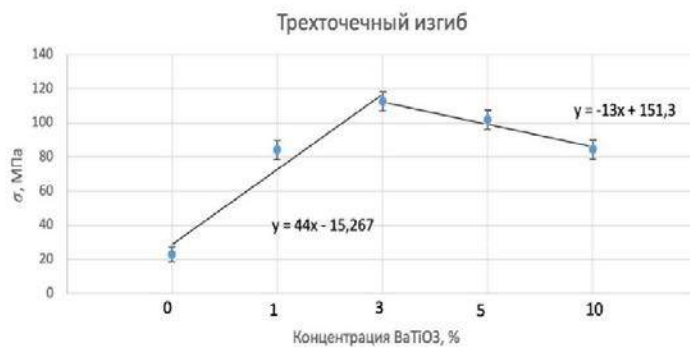


Рисунок 3. Зависимость прочности при трехточечном изгибе исследуемых керамик от содержания BaTiO₃

Рисунок 4 демонстрирует, что добавление титаната бария (BaTiO₃) к оксиду алюминия (Al₂O₃) повышает трещиностойкость керамических образцов. Исследование показало, что оптимальное содержание BaTiO₃ составляет 3 %, при котором трещиностойкость керамики увеличивается в 4,9 раза по сравнению с чистым оксидом алюминия, спеченным в тех же условиях. Дальнейшее увеличение концентрации BaTiO₃ приводит к снижению трещиностойкости.

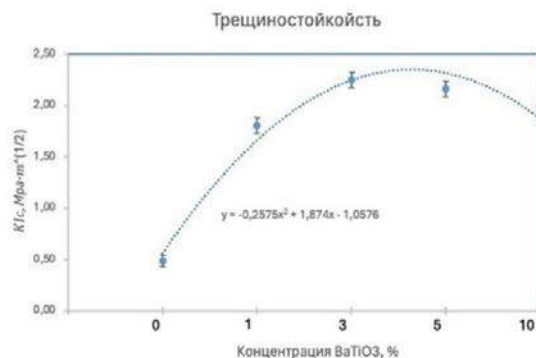


Рисунок 4. Зависимость трещиностойкости исследуемых керамик от содержания BaTiO₃

В результате проведенного исследования было установлено, что наилучшие механические характеристики демонстрирует композитный материал с составом 97 % Al₂O₃ и 3 % BaTiO₃. Именно эта пропорция компонентов позволила достичь максимальных значений по трем ключевым параметрам.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0009.

Список литературы

1. Кирпичев И.В., Маслов Л.Б., Коровин Д.И. Актуальные междисциплинарные проблемы применения современных пористых имплантатов для замещения костных дефектов // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – Т. 1. – № 2.
2. Красницкий С.А., Шейнерман А.Г., Гуткин М.Ю. Высокотемпературное разрушение керамических материалов на основе Al₂O₃ // Актуальные проблемы прочности. Сборник тезисов LXVII Международной конференции. – Екатеринбург. – 2024. – С. 42–44.
3. Кириллов В.И., Марков А.О. Процесс и критерий разрушения пьезокерамических преобразователей // Гидроакустика. – 2015. – № 23. – С. 9–19.