

УДК 666.3-127.7

Механические параметры и биосовместимость композитов Al_2O_3 – BaTiO_3 И.А. Мартемьянова¹, И.А. Фотин², Е.И. Сенькина²

Научный руководитель: доцент, А.С. Буяков

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г. Томск, пр-т Академический, д. 2/4, 634055

Email: iag25@tpu.ru

Mechanical properties and biocompatibility of Al_2O_3 – BaTiO_3 compositesI.A. Martemyanova¹, I.A. Fotin², E.I. Senkina²

Scientific Supervisor: Assoc. Prof. A.S. Buyakov

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, 30 Lenin str., 634050²Institute of strength physics and materials science SB RAS, Russia, Tomsk, 2/4 Academichesky pr., 634055,

Email: iag25@tpu.ru

Abstract: *This study investigates the impact of barium titanate (BaTiO_3) on the mechanical properties and biocompatibility of alumina (Al_2O_3)-based ceramics intended for bone defect repair. The composite material comprising 97 % Al_2O_3 and 3 % BaTiO_3 exhibited optimal performance, demonstrating a 3.6-fold increase in diametral compression strength, a 4.8-fold increase in flexural strength, and a 4.9-fold increase in fracture toughness compared to pure Al_2O_3 . Furthermore, the addition of BaTiO_3 up to 5 % did not compromise the adhesion and proliferation of 3T3 mouse fibroblasts, thereby supporting the material's potential for applications in osteoprosthetics.*

Key words: *alumina, barium titanate, biocompatibility, mechanical properties, osteoprosthetics.*

Введение

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

Оксид алюминия (Al_2O_3) обладает надлежащей биологической инертностью и высокой прочностью, однако высокая хрупкость керамик ограничивает применение Al_2O_3 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 настоящего исследования является изучение влияния BaTiO_3 на механические параметры керамического композита на основе Al_2O_3 .

Экспериментальная часть

Для проведения исследования были подготовлены смеси Al_2O_3 и BaTiO_3 с содержанием последнего 1, 3, 5 и 10 об. %. Образцы керамик были получены методом холодного одноосного прессования смесей керамических порошков и последующего спекания при температуре 1400 °С в воздушной печи.

Осуществлена оценка механических характеристик керамических композитов на основе Al_2O_3 , включая определение предела прочности при трехточечном изгибе, измерение трещиностойкости методом трехточечного изгиба с предварительно нанесенным V-образным

надрезом, а также определение предела прочности при радиальном сжатии. Осуществлена оценка влияния состава на жизнеспособность фибробластов в условиях *in vitro*.

Результаты

Анализ гистограммы размера зерен, оксида алюминия и титаната бария, представленный на рис. 1, позволил оценить средний размер частиц в матрице, средний размер включений оксида алюминия равен 2,11 мкм, а титаната бария – 1,19 мкм.

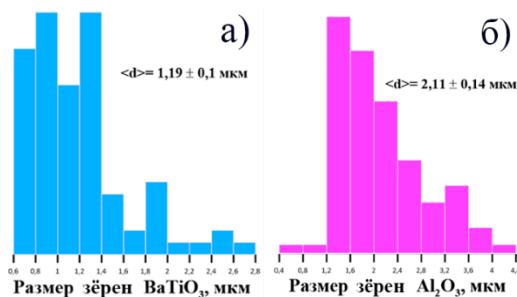


Рис. 1. Гистограммы размеров зерен в композите: размер зёрен титаната бария (а); размер зёрен оксида алюминия (б)

Результаты исследования показали, что добавление BaTiO_3 существенно влияет на прочность керамики Al_2O_3 . Наилучшие показатели достигнуты при 3% BaTiO_3 , что увеличило прочность при радиальном сжатии в 3,6 раза, а при трехточечном изгибе — в 4,8 раза по сравнению с чистым Al_2O_3 (рис. 2).

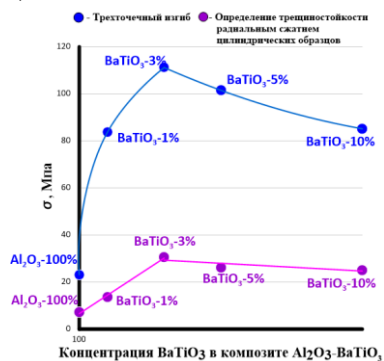


Рис. 2. Зависимость прочности при радиальном сжатии и зависимости прочности при трехточечном изгибе исследуемых керамик от содержания BaTiO_3

Результаты определения трещиностойкости, представленные на рис. 3, свидетельствуют о положительном влиянии включения титаната бария на повышение трещиностойкости керамических образцов, изготовленных на основе оксида алюминия. Установлено, что наибольший прирост трещиностойкости достигается при концентрации BaTiO_3 3%.

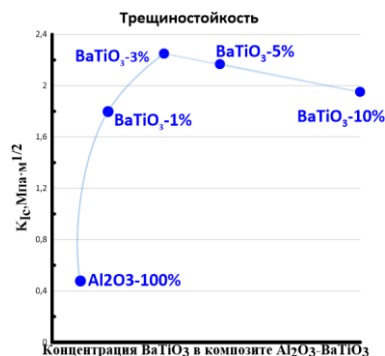


Рис. 3. Зависимость трещиностойкости исследуемых керамик от содержания BaTiO_3

МТТ-тест показал (рис. 4), что на первых сутках культивирования жизнеспособность фибробластов на образцах Al_2O_3 с содержанием BaTiO_3 до 5 % отличалась от контроля не более чем на 15 %. При содержании BaTiO_3 10 % ($\text{Al}_2\text{O}_3/90$) жизнеспособность снижалась на 70 %.

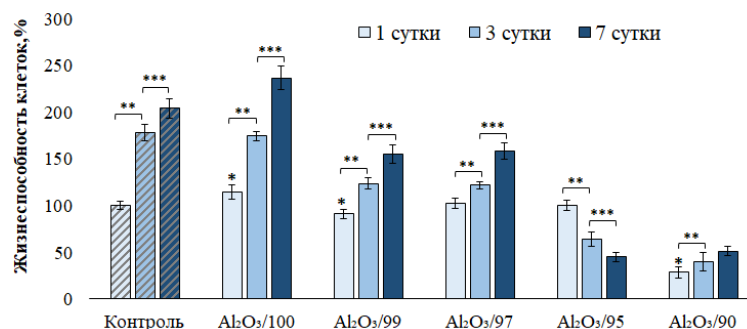


Рис. 4. Жизнеспособность клеток на керамических скаффолдах

* – стат. значимые различия при $p < 0,01$ по сравнению с контрольной группой на 1 сутки;

** – стат. значимые различия при $p < 0,01$ по сравнению с исследуемой группой на 3 сутки;

*** – стат. значимые различия при $p < 0,01$ по сравнению с исследуемой группой на 7 сутки.

Достоверность разницы оптической плотности клеток в опытных лунках по сравнению с контрольными определяли по U-критерию Манна-Уитни, достоверное различие принято при $p < 0,01$.

Из результатов исследования биологической совместимости композитов можно сделать вывод о том, что добавление BaTiO_3 к Al_2O_3 в пределах до 5 % практически не влияет на адгезивные свойства фибробластов мыши линии 3ТЗ, материалы не обладают токсикологическим действием.

Заключение

Проведенные исследования композиционных материалов Al_2O_3 - BaTiO_3 выявили, что введение 3 мас. % BaTiO_3 в матрицу Al_2O_3 приводит к существенному улучшению механических свойств, включая прочность при радиальном сжатии, предел прочности при трехточечном изгибе и трещиностойкость. Анализ цитотоксичности показал, что концентрации BaTiO_3 до 5 мас. % не оказывают значимого негативного воздействия на жизнеспособность фибробластов, что позволяет предположить потенциальную биосовместимость разработанного материала. На основании полученных данных можно заключить, что композит на основе Al_2O_3 с 3 мас. % BaTiO_3 является перспективным материалом для применения в области остеопротезирования, благодаря сочетанию улучшенных механических свойств и биосовместимости.

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 Al_2O_3 // 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.