

УДК 539.421

DOI: 10.17223/00213411/63/11/44

*А.Н. ПОНОМАРЕВ¹, М.С. БАРАБАШКО², А.Е. РЕЗВАНОВА¹, Е.П. ЕВТУШЕНКО¹***ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ K_c БИОКОМПОЗИТА ГИДРОКСИАПАТИТ – МНОГОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ ***

Выполнен анализ влияния пористости композита гидроксиапатит – многостенные углеродные нанотрубки (ГА–МУНТ) на величину коэффициента трещиностойкости K_c . Установлено, что на результирующие значения коэффициента трещиностойкости K_c влияют два конкурирующих фактора. С одной стороны, более прочные, чем окружающая матрица гидроксиапатита (ГА), добавки многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) позволяют увеличить значения K_c за счет возможного отклонения траектории развития трещины от планарной геометрии, что приводит к уменьшению движущей силы распространения трещины. С другой стороны, увеличение содержания добавок МУНТ приводит к уменьшению пористости композита. Выполнено численное компьютерное моделирование формирования трещин в ГА различной пористости. Показано, что уменьшение пористости, обусловленное активацией процесса спекания за счет введения добавок МУНТ, приводит к уменьшению коэффициента трещиностойкости K_c керамики. Установлено, что добавки МУНТ в содержании менее 0.5 мас. % не вызывают существенного роста трещиностойкости K_c за счет конкуренции этих двух механизмов.

Ключевые слова: пористость, композит, гидроксиапатит, многостенные углеродные нанотрубки, трещиностойкость.

Введение

Для реконструкции костных тканей и заполнения костных дефектов широко используются фосфаты кальция, такие, как гидроксиапатит (ГА), а также металлические сплавы на основе титана, покрытые фосфатами кальция [1–9]. Это обусловлено структурной и химической схожестью ГА с минеральной составляющей человеческой костной ткани, высокой биологической активностью, osteoconductive и биосовместимостью [10, 11]. Для улучшения механических свойств ГА, в частности коэффициента трещиностойкости, в ряде работ использованы добавки многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) [12–16].

Интерес к использованию МУНТ в качестве упрочняющих добавок обусловлен тем, что МУНТ обладают структурным подобием с органическим компонентом кости. Согласно данным работы [17], диаметр коллагеновых фибрилл в кости составляет порядка 50 нм. Упрочнение композитных материалов возможно как за счет высоких механических свойств МУНТ [18], так и за счет их тепловых свойств [19, 20], поскольку тепловые процессы во время синтеза могут существенно влиять на результирующую плотность и соответственно прочность полученного композитного материала. Более прочные, чем окружающая матрица, добавки позволяют увеличить значения K_c за счет возможного отклонения траектории развития трещины от планарной геометрии, что приводит к уменьшению движущей силы распространения трещины [21]. В работе [22] было показано, что введение добавок МУНТ способствует увеличению теплопроводности композитного материала. Это приводит к активации процесса спекания и уменьшению температурных градиентов в образце в процессе нагрева-охлаждения и способствует получению более плотной керамики. В работе [23] с увеличением концентрации нанотрубок до 0.5 мас. % наблюдалось увеличение плотности композита ГА–МУНТ. В этой же работе определено, что добавки МУНТ приводят к увеличению компрессионной прочности и микротвердости композита по Виккерсу.

В ряде работ было установлено, что при разном содержании добавок МУНТ результирующие данные трещиностойкости биокерамики на основе ГА существенно отличаются. В работе [14] трещиностойкость керамики ГА увеличена на 56 % при содержании МУНТ 4 мас. %. В [15] при аналогичном массовом содержании МУНТ достигнуто увеличение трещиностойкости на 92 %. В работе [16] определено увеличение трещиностойкости композита ГА–МУНТ на 30 % при добавлении 2.5 мас. % МУНТ. Таким образом, важно проанализировать причины упрочнения, поскольку механизм этого упрочнения остается не до конца ясным. Упрочнение композитного мате-

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.5.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>