

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОКОМПОЗИТА
НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В.А. Микушина

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. И.Ю. Смолин

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: mikushina_93@mail.ru

**DETERMINATION OF EFFECTIVE MECHANICAL PROPERTIES OF BIOCOMPOSITE
ON THE BASIS OF MULTILEVEL MODELING**

V.A. Mikushina

Scientific Supervisor: Associate. Prof., Dr. I.Yu. Smolin

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: mikushina_93@mail.ru

***Abstract.** Numerical simulation of biocomposite "zirconia-based ceramics - cortical bone" was performed using multilevel approach. The effective mechanical properties of the ceramic biocomposite were determined.*

Введение. Использование новых материалов для производства более качественных изделий медицинской техники, а также создание новых биокomпозитных материалов для восстановления структуры поврежденных костных тканей являются основными задачами перед современной медициной. Так, хирургическая медицина использует изделия из керамических материалов для создания «заменителей» поврежденных или разрушенных тканей человеческого тела. Для создания костных протезов большой интерес проявляется к керамическим материалам на основе диоксида циркония, характеризующимся высокой прочностью, а также прекрасной биосовместимостью с живыми тканями организма человека [1, 2]. Методы компьютерного моделирования позволяют получить информацию о механических и биологических свойствах таких материалов. В настоящее время существует много различных подходов и численных методов для оценки механических свойств керамических материалов [3–5]. Одним из таких подходов является многоуровневый подход, который позволяет учесть особенности структуры разного масштаба и ее влияние на эффективные механические свойства композитов.

Целью данной работы является численное изучение особенностей изменения параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) в керамическом пористом биокomпозите «керамика на основе ZrO_2 - кортикальная костная ткань» при механическом нагружении и определение его эффективных механических свойств. Для достижения поставленной цели было проведено численное моделирование механического поведения представительного объема биокomпозита на основе пористой керамики с учетом накопления повреждений.

Описание объекта исследования и использованного численного метода моделирования. Модель представительного объема биокomпозита представлена на рис. 1. Биокomпозит представляет собой пористую керамику на основе диоксида циркония, заполненную кортикальной костной тканью.

При построении двумерной геометрической модели поры были представлены круговыми включениями, которые хаотично размещены в пределах моделируемого объема с полидисперсным распределением по размерам. В качестве представительного объема рассматривался объем, размеры которого в 15 раз превышали размеры наибольшей поры. Такой размер соответствует обычным требованиям, предъявляемым к методикам исследования параметров структуры материала.

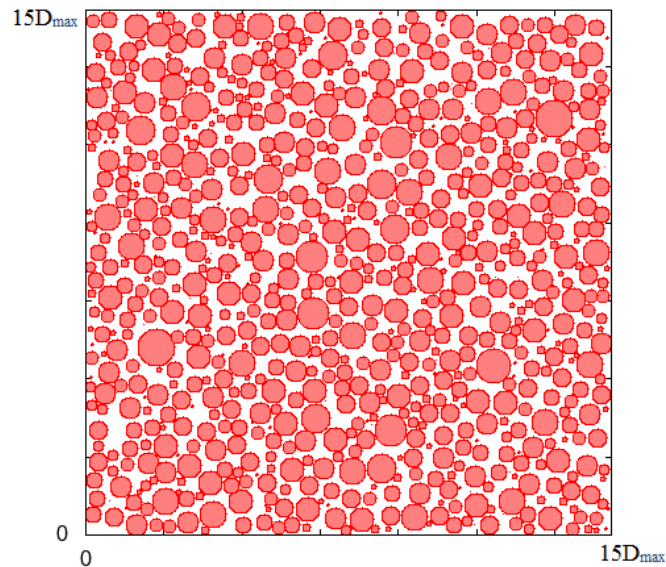


Рис. 1. Модель представительного объема биокompозита

В пределах представительного объема выбирались случайно 300 точек в которых исследовались локальные упругие и прочностные свойства. Для определения этих свойств каждая точка на мезоскопическом уровне представлена объемом с характерной ему структурой. Учитывая нелинейный характер задачи определения параметров НДС на мезоуровне, она решалась при помощи метода пошагового нагружения. На каждом шаге по нагрузке в каждом объеме вычислялись поля мезоуровневых значений напряжений и деформаций, а также значения параметров повреждаемости керамики и кости. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния объема биокompозита на мезоскопическом уровне производился с помощью метода конечных элементов в двумерной постановке. Рассматривался случай квазистатического одноосного нагружения и упруго-хрупкая модель материала.

Результаты. В результате проведенных расчетов были получены средние значения параметров НДС биокompозита, по которым была построена диаграмма деформирования биокompозита (рис. 2).

Начиная с деформации равной 0,6%, наблюдается нарушение линейной зависимости между значениями эффективных напряжений и значениями эффективных деформаций. Это объясняется тем, что при данном значении деформации в отдельных объемах мезоскопического уровня начинают выполняться условия локального повреждения. С ростом деформации эффект накопления повреждений усиливается, в связи с этим наблюдается уменьшение угла наклона кривой деформирования, что означает снижение эффективного модуля упругости. Точка А на кривой деформирования соответствует значениям эффективных напряжений и деформаций, при которых отмечено выполнение перколяционного критерия макропрочности [6].

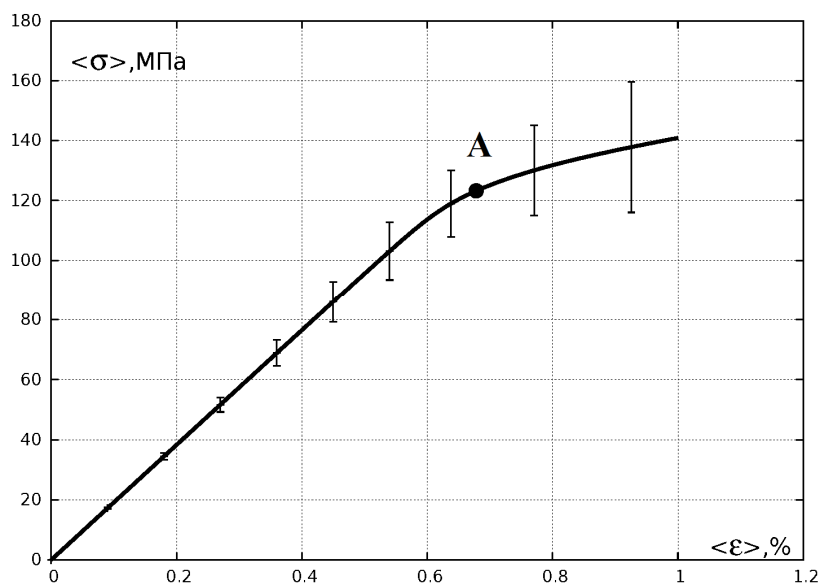


Рис. 2. Диаграмма деформирования биокompозита

Выводы. Применение многоуровневого подхода для моделирования механического поведения композитов с учетом повреждаемости [6] позволило предельные значения эффективных напряжений и деформаций, соответствующие перколяционному критерию прочности: $\sigma_{\text{eff}} = 124$ МПа, $\varepsilon_{\text{eff}} = 0,68$ % для биокompозита «керамика на основе ZrO_2 - кортикальная костная ткань».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канюков В.Н., Стрекаловская А.Д., Килькинов В.И. Материалы для современной медицины: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУОГУ, 2004. – 113с.
2. Михайлина Н.А., Подзорова Л.И., Румянцева М.Н. и др. Керамика на основе тетрагонального диоксида циркония для реставрационной стоматологии // Перспективные материалы. –2010. –№3. – С.44–48.
3. Smolin A.Yu., Roman N.V., Konovalenko Ig.S., Eremina G.M., Buyakova S.P., Psakhie S.G. 3D simulation of dependence of mechanical properties of porous ceramics on porosity // Eng. Fract. Mech. – 2014. – Vol. 130. – P. 53–64.
4. Smolin A.Yu., Shilko E.V., Astafurov S.V., Konovalenko I.S., Buyakova S.P., Psakhie S.G. Modeling mechanical behaviors of composites with various ratios of matrix–inclusion properties using movable cellular automaton method // Def. Technol. – 2015. Vol. 11. – P. 18–34.
5. Каракулов В.В., Смолин И.Ю., Скрипняк В.А. Численная методика прогнозирования эффективных механических свойств стохастических композитов при ударно-волновом нагружении с учётом эволюции структуры // Вестн. Том. гос. ун-та. Матем. и мех. – 2013. – № 4(24). – С. 70–77.
6. Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А. Многоуровневый подход к определению эффективных свойств композита с учетом повреждаемости // Физ. мезомех. – 2013. – Т. 16. – № 5. – С. 59-65.