

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

В.А. Микушина, И.Ю. Смолин

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

Пористые керамические материалы обладают рядом уникальных свойств: высокой твердостью, износостойкостью, огнеупорностью, химической стойкостью, низкой плотностью. Регулируя характеристики поровой структуры в процессе изготовления керамики, можно улучшать те или иные физико-химические свойства керамик. Благодаря своим отличительным свойствам, пористая керамика пользуется широким спросом в различных областях применения. Например, изделия из пористой керамики используются в химической промышленности. К ним относятся огнеупорные изделия, работающие при высоких температурах в условиях воздействия агрессивных сред, и фильтрующие материалы. Использование пористой керамики в строительстве обусловлено следующими её свойствами: низкая теплопроводность, хорошая устойчивость к окружающей среде и низкая плотность. Активно обсуждается применение пористых керамик в качестве биомедицинских имплантов. Одним из перспективных и интересных классов керамик для различных областей применения является керамика с иерархической поровой структурой [1, 2].

Для описания механического поведения таких материалов принято использовать многоуровневый подход. Так, авторы работы [3] предложили вариант многоуровневого подхода для композиционных материалов с учетом повреждаемости и показали, что данный подход позволяет корректно качественно и количественно описывать поведение материалов с иерархической поровой структурой. В работе [4] многоуровневый подход использован для моделирования механического поведения керамик с бимодальной пористой структурой. Отличием многоуровневого подхода является способность учитывать особенности структуры и поведение материала на каждом масштабном уровне.

В настоящей работе предлагается на основе экспериментальных данных о распределениях по размерам «крупных» и «мелких» пор ввести в рассмотрение два мезоуровня: мезо I и мезо II. Соответственно рассматриваются два уровня моделирования, на которых явно учитываются «мелкие» и «крупные» поры. На каждом из мезоуровней определяются средние эффективные значения упругих и прочностных свойств, а также их статистические характеристики. При моделировании на мезоуровне I для материала «матрицы» используются механические характеристики беспористого материала. Полученные на мезоуровне I осредненные характеристики пористого материала переносим на мезоуровень II для задания механических характеристик материала «матрицы» на данном уровне при моделировании. Полученные по такой же технологии эффективные механические характеристики мезоуровня II должны соответствовать эффективным характеристикам макроуровня. Этим обеспечивается взаимосвязь разных уровней моделирования

Для моделирования деформации и разрушения пористых керамик в настоящей работе используются определяющие уравнения упругой повреждаемой среды, основанные на кинематическом описании поврежденности в рамках термодинамики необратимых процессов [5].

По экспериментальным данным для алюмооксидной керамики с иерархической пористой структурой, приведенным в статье [2], составлены геометрические структуры пористых мезообъемов с интегральной пористостью 50 % и проведено численное моделирование их деформации в условиях одноосного сжатия. Полученные в результате расчетов данные об эффективном модуле Юнга и предела прочности при сжатии соответствуют экспериментам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ohji T., Fukushima M. Macro-porous ceramics: processing and properties // *International Materials Reviews*. – 2012. – Vol. 57. – №. 2. – P. 115–131.
2. Григорьев М.В., Савченко Н.Л., Буякова С.П., Кульков С.Н. Неупругое поведение при сжатии керамики с иерархической поровой структурой // *Письма в ЖТФ*. – 2017. – Т. 43. – Вып. 15. – С. 79–86.
3. Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А. Многоуровневый подход к определению эффективных свойств композита с учетом повреждаемости // *Физическая мезомеханика*. – 2013. – Т. 16. – № 5. – С. 59-65.
4. Коноваленко Иг.С., Смолин А.Ю., Псахье С.Г. Многоуровневое моделирование деформации и разрушения хрупких пористых материалов на основе метода подвижных клеточных автоматов // *Физическая мезомеханика*. – 2009. – Т. 12. – № 5. – С. 29–36.
5. Michael Brünig, Alexander Michalski. A stress-state-dependent continuum damage model for concrete based on irreversible thermodynamics // *International Journal of Plasticity*. – 2017. – V.90. – P. 31–43.