

УДК 539.4.015: 62-405.8:004.94

DOI: 10.17223/00213411/62/8/128

А.Ю. СМОЛИН^{1,2}, Г.М. ЕРЕМИНА^{1,2}, С.Ю. КОРОСТЕЛЕВ¹

ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ С БИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОР ПО РАЗМЕРАМ ОТ ПОРИСТОСТИ НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ *

Выявлены особенности в зависимостях от пористости упругих и прочностных свойств керамики с иерархически организованной поровой структурой. Для исключения влияния других микроструктурных факторов, таких, например, как размер зерна, изучение проводилось на основе многоуровневого компьютерного моделирования с использованием подвижных клеточных автоматов и вероятностного подхода. Разработана специальная компьютерная модель механического поведения пористой керамики с бимодальным распределением пор по размерам. На нижнем уровне модели явно учитываются мелкие изолированные поры и проводятся серии расчётов представительных образцов с индивидуальным расположением пор в пространстве. Получаемые в результате анализа Вейбулла значения упругих и прочностных характеристик этих образцов служат эффективными свойствами матрицы пористого материала на мезоуровне. На мезоуровне явно рассматриваются крупные поры как равноосной, так и вытянутой формы. На макроуровне неоднородность материала описывается неявно и сводится к заданию автоматам уникальных упругих и прочностных свойств, полученных из анализа Вейбулла результатов серии расчётов на мезоуровне.

Ключевые слова: керамика, поровая структура, разрушение, многоуровневое моделирование, метод подвижных клеточных автоматов.

Введение

Современные технологии производства конструкционных и функциональных материалов позволяют получать высокоэффективные материалы, обладающие сложной многоуровневой структурой на различных пространственных масштабах. Традиционно свойства кристаллических материалов изменяли за счёт модификации их микроструктуры, например, путём добавления легирующих элементов, формирования различных сплавов, твёрдых растворов, изменения размера зерна. В настоящее время используются аддитивные технологии типа селективного лазерного спекания, позволяющие создавать заданную мезо- и макроструктуру деталей, которая порой обеспечивает задание им весьма необычных свойств.

Если ограничиться рассмотрением керамических материалов, то наиболее важными параметрами их микроструктуры являются размер и форма зёрен, а мезоструктуры – характеристики порового пространства. При этом последние являются определяющими для большинства физико-механических характеристик, поскольку позволяют варьировать их в широких пределах. Следует отметить, что наиболее широкие возможности современных аддитивных технологий производства керамических материалов относятся к варьированию именно поровой структуры. Поэтому для выбора технологических параметров при изготовлении современных керамических материалов важно уметь достаточно точно оценивать их физико-механические свойства на основании знаний о структуре порового пространства.

Для предсказания физико-механических свойств пористых материалов различными авторами использовались разные подходы вот уже на протяжении ста лет, но до сих пор эта проблема в полной мере не решена и потому является актуальной. Аналитическое решение этой задачи наиболее успешно развито в рамках механики композитов и микромеханики, а именно подходов, основанных на методах самосогласованного поля и случайных функций [1, 2]. Однако эти подходы применимы лишь к свойствам, определяющим распространение различного типа возмущений (упругих, тепловых и электромагнитных). Для прочностных параметров возможности этих подходов ограничены периодической поровой структурой. Следует также отметить, что экспериментальное определение прочностных свойств материалов приводит к очень большому разбросу данных, причины которого могут быть различными. Из вышесказанного можно сделать вывод, что для реше-

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

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>