

УДК 539.37:539.42

DOI: 10.17223/00213411/64/3/21

Ю.А. МИРОВОЙ, А.Г. БУРЛАЧЕНКО, А.С. БУЯКОВ, Е.С. ДЕДОВА, С.П. БУЯКОВА

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА МИКРОСТРУКТУРУ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НАНОСТРУКТУРНОЙ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ *

Исследована структура и свойства керамики на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, с добавкой высокомодульных включений углеродных нанотрубок. Композиционные материалы были получены методом искрового плазменного спекания. Введение углеродных нанотрубок обеспечивает незначительное уменьшение плотности и размера зерен керамики. Рост объемной доли углеродных нанотрубок ведет к увеличению механических свойств керамических композитов. Наибольшие значения механических свойств достигались при введении 5 об. % углеродных нанотрубок и составили $E = (246 \pm 8)$ ГПа, $H = (12.7 \pm 0.21)$ ГПа, $K_{IC} = (12.1 \pm 0.35)$ МПа·м^{1/2}, $K_{ICN} = (7.8 \pm 0.29)$ МПа·м^{1/2}. Увеличение вязкости разрушения при введении в керамическую матрицу углеродных нанотрубок обусловлено действием двух механизмов – фазового превращения из тетрагональной в моноклинную модификацию ZrO_2 и перекрытием трещин нанотрубками. При увеличении количества вводимой добавки вклад мартенситного превращения в трещиностойкость снижается, что связано с уменьшением размера зерна тетрагональной фазы ZrO_2 и соответственно с переходом ее в стабильное состояние.

Ключевые слова: оксидная керамика, углеродные нанотрубки, вязкость разрушения, перекрытие трещин, фазовый переход.

Введение

Хрупкость керамик ограничивает их использование не только в качестве конструкционных материалов, но и в качестве материалов функционального и специального назначения. Известны разные приемы повышения трещиностойкости керамических материалов. Они заключаются в увеличении работы распространения трещин посредством фазовых переходов или введения в керамическую матрицу включений (второй фазы). В качестве второй фазы в керамике используют частицы, волокна, либо создается слоистая структура. Развитие направления по получению и изучению углеродных нанотрубок способствовало появлению экспериментальных и теоретических исследований по влиянию добавки углеродных нанотрубок на механические свойства и вязкость разрушения керамик. Углеродные нанотрубки имеют высокие модуль упругости (1300–1600 ГПа), прочность на растяжение (100–120 ГПа) и коэффициент сжатия [1–4]. Предполагалось, что армирование керамики нанотрубками обеспечит достижение механических свойств, по крайней мере, не уступающих механическим свойствам керамик, армированных керамическими нановолокнами. Однако, как показали исследования по армированию керамических матриц углеродными нанотрубками, положительного влияния на механические свойства и вязкость разрушения керамик удастся добиться далеко не всегда. Отмечается, что введение в керамическую матрицу одностенных углеродных нанотрубок (SWCNT) либо не влияет на вязкость разрушения, либо уменьшает величину K_{IC} . Введение многостенных углеродных нанотрубок (MWCNT) в керамическую матрицу в ряде случаев оказывает положительное влияние на вязкость разрушения, но это достигается только при их равномерном распределении в керамике и формировании прочной границы между керамическим зерном и включением. Вязкость разрушения керамики при ее армировании углеродными нанотрубками возрастает за счет перекрытия трещин (crack bridging) нанотрубками, их вытягивания и коллапсирования при раскрытии трещин.

Перечисленные приемы увеличения вязкости разрушения керамических материалов показывают хорошие результаты при отдельном действии каждого из них. Однако имеется неясность в их совместном влиянии на разрушение керамики. Особое внимание с точки зрения синергического действия разных механизмов увеличения ударной вязкости вызывает циркониевая керамика [5–10]. Хорошие перспективы использования ZrO_2 -керамики указывают на необходимость поиска путей повышения ее надежности посредством организации совокупного действия разных приемов увеличения ударной вязкости. Неоднозначность результатов проведенных исследований не дает ясного представления о возможности увеличения вязкости разрушения циркониевой керамики при действии разных механизмов. Цель данной работы – выявление возможности синергии механизмов увеличения вязкости разрушения керамики на основе диоксида циркония.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0009.

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>