

05.1;12

Механическое поведение пористого диоксида циркония при активной деформации сжатием

© С.П. Буюкова, Хан Вэй, Ли Дунмы, Чжэнь Хайюн,
Т.Ю. Саблина, А.Г. Мельников, С.Н. Кульков

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
Дзилинский университет, г. Чань-Чунь, 130023 КНР

Поступило в Редакцию 15 февраля 1999 г.

Изучены особенности механического поведения пористой керамики на основе частично стабилизированного диоксида циркония. Установлены особенности механического поведения керамики с разным уровнем пористости.

Показано, что в материале наблюдается одновременно три механизма макродеформации: упругая деформация, характерная для компактного материала, микроастрескивание с накоплением микроповреждений и перемещение локальных объемов материала в поровое пространство. Способность к трансформационным превращениям в поле напряжений распространяющейся трещины сохраняется в керамике с пористостью не более 20%.

Керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония вызывает повышенный интерес как высоковязкий керамический материал [1,2]. Кроме того, он перспективен как материал, содержащий контролируемое количество пор, но в то же время сохраняющий прочностные характеристики, определяемые трансформационным упрочнением. Это может быть полезно, например, для биоматериалов, фильтров, теплозащитных конструкций и др. [3]. Однако данных по изучению влияния пористости на механические свойства нет.

Цель настоящей работы — исследование влияния пористости на механическое поведение керамики на основе диоксида циркония при активной деформации сжатием.

Изучена пористая керамика на основе ультрадисперсного порошка диоксида циркония, стабилизированного 3 mol.% Y_2O_3 . Образцы материала изготовлены методом порошковой металлургии путем прессования и последующего спекания ZrO_2 в интервале температур 1200–1600°C, а изменением времени спекания от 10 min до 10 h обеспечивалась

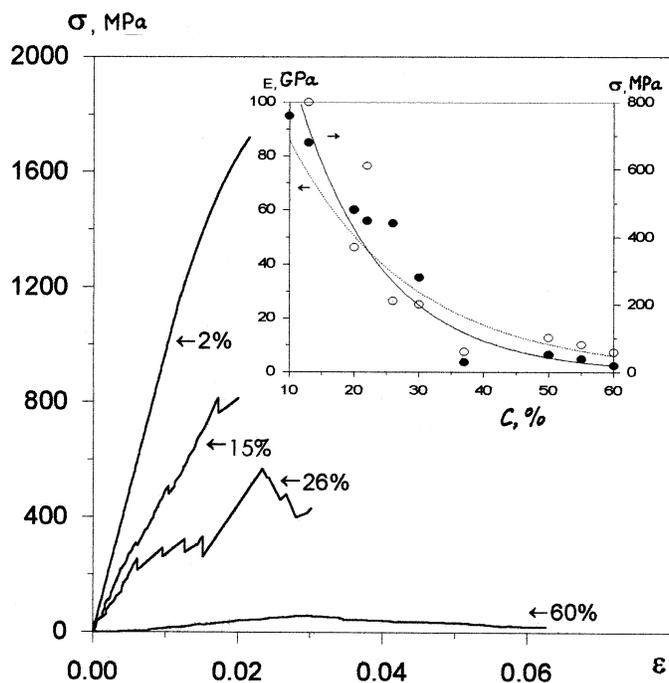


Рис. 1. Кривые деформирования керамики на основе ZrO_2 с разным уровнем пористости. На вставке — изменение предела прочности и модуля упругости с ростом пористости.

различная конечная пористость образцов, которая составляла 10–60%. Проводились испытания образцов на сжатие на испытательной машине "INSTRON-1185" с постоянной скоростью нагружения $3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Определяли предел прочности и относительную деформацию материала.

На рис. 1 представлены диаграммы "напряжение–деформация" керамики с разным уровнем пористости. Как видно из рисунка, на диаграмме нагружения беспористой керамики (пористость менее 2%) материал разрушается практически из упругой области, имеется небольшой участок, соответствующий нелинейной упругости или, возможно, тетрагонально-моноклинному структурному превращению [1].

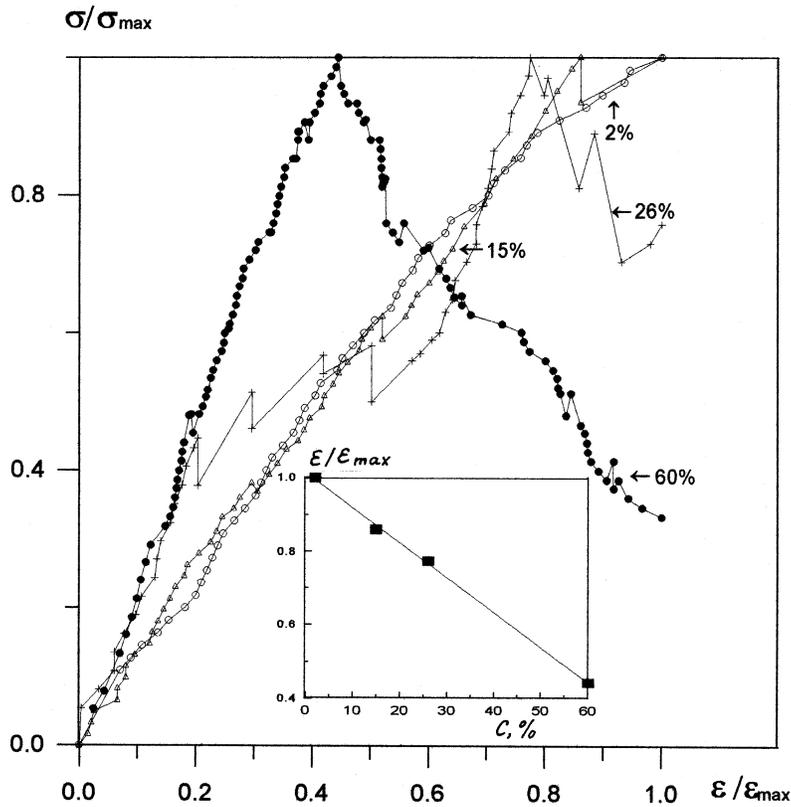


Рис. 2. Кривые деформирования керамики на основе ZrO_2 , построенные в относительных координатах. На вставке — изменение величины относительной деформации $\varepsilon/\varepsilon_{max}$ с ростом пористости.

Увеличение пористости приводит к появлению множественных микроповреждений в процессе деформирования, причем тем больше, чем больше величина пористости. Этот процесс проявляется на диаграмме нагружения в виде резких падений напряжения вследствие микроастрескивания. При этом микротрещины останавливаются на порах и материал восстанавливает способность к упругому деформированию.

Процесс микрорастрескивания сопровождается перемещением локальных объемов материала в поровое пространство, поэтому увеличение пористости приводит к появлению квазипластичности вследствие фактически дополнительного уплотнения (компактирования) материала.

Таким образом, в материале наблюдается одновременно три механизма макродеформации: упругая деформация, характерная для компактного материала, микрорастрескивание с накоплением микроповреждений и перемещение локальных объемов материала в поровое пространство. Это наиболее явно иллюстрируется рис. 2, приведенным в относительных координатах $\sigma/\sigma_{\max} = f(\varepsilon/\varepsilon_{\max})$. При этом область появления микрорастрескивания, проявляющаяся на диаграмме нагружения в виде резких падений напряжений, с увеличением пористости смещается в область меньших относительных деформаций и становится более протяженной. Характерно, что величина относительной деформации $\varepsilon/\varepsilon_{\max}$, при которой напряжения достигают максимальных значений (т. е. $\sigma/\sigma_{\max} = 1$), линейно уменьшается с ростом пористости (вставка на рис. 2).

На вставке рис. 1 представлена зависимость прочности и модуля упругости от величины пористости. Аппроксимация экспериментальных значений функциональными зависимостями вида $Y = A \exp(b \cdot X)$ [4] позволила получить значения прочности и модуля упругости беспористого материала, равные 1200 МПа и 200 ГПа соответственно, что хорошо согласуется с литературными данными [5].

Результаты рентгеноструктурного анализа образцов, проведенного на дифрактометре "Дрон-УМ1" с $\text{FeK}\alpha$ излучением, показали, что керамика в исходном состоянии находится в тетрагональной фазе. При этом при нагружении структурное превращение из тетрагональной в моноклинную фазу на поверхности разрушения, характерное для данных материалов, наблюдается только для низкой пористости вследствие того, что уровень напряжений, когда начинается квазипластическая деформация данных материалов, низок. Действительно, оценка концентрации внутренних напряжений в соответствии с [4] в виде

$$E/E_0 = \sigma/\sigma_1,$$

где E — модуль упругости, E_0 — модуль упругости беспористого материала, σ — приложенное напряжение, σ_1 — локальное напряжение, показала, что напряжения, достаточные для фазового превращения (более 200 МПа в соответствии с [6]), возникают только в материале

с пористостью менее 20%. В более пористой керамике величины локальных напряжений резко уменьшаются и не достигают уровня, достаточного для фазового перехода.

Таким образом, в пористом керамическом материале наблюдается одновременно три механизма макродеформации: упругая деформация, характерная для компактного материала, микрорастрескивание с накоплением микроповреждений и перемещение локальных объемов материала в поровое пространство. Способность к трансформационным превращениям в поле напряжений распространяющейся трещины сохраняется в керамике с пористостью не более 20%.

Список литературы

- [1] Калинович Д.Ф., Кузнецова Л.И., Денисенко Э.Т. // Порошковая металлургия. 1987. № 11. С. 98–104.
- [2] Evans A.G., Cannon R.M. // Acta Metall. 1986. V. 34. N 5. P. 761–800.
- [3] Пористая конструкционная керамика / Под ред. Ю.Л. Красулина. М.: Металлургия, 1980.
- [4] Кобл Р.Л., Парих Н.М. // Разрушение. Т. 7. / Пер. с англ. М.: Мир, 1976.
- [5] Андриевский А.Р., Спивак И.И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: Справ. изд. Челябинск: Металлургия, 1989.
- [6] Marshal D.B., James M.R. // J. Am. Soc. 1986. V. 69. P. 3.