

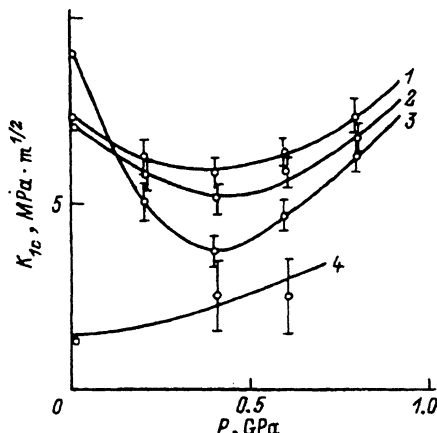
## ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКИ СЖАТОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

© В.И.Барбашов, Г.Я.Акимов

Донецкий физико-технический институт Академии наук Украины,  
340114 Донецк, Украина  
(Поступила в Редакцию 4 декабря 1995 г.)

Влияние гидростатического давления на процесс разрушения кристаллических твердых тел является в настоящее время одной из наименее изученных проблем в физике прочности. Ранее нами методами двухконсольной балки [1] и микроиндентирования [2] экспериментально было обнаружено увеличение критического коэффициента интенсивности напряжения  $K_{Ic}$  (трещиностойкости) с ростом давления соответственно для щелочно-галоидных и высокопрочных ионно-ковалентных монокристаллов и однофазных поликристаллов. В данной работе объектом исследований является частично стабилизированный диоксид циркония (ЧСДЦ), в основе высокой трещиностойкости которого лежит механизм трансформационного упрочнения [3]. В этом материале высокое сопротивление распространению трещины обусловлено индуцированным растягивающим напряжением фазового превращения метастабильной тетрагональной фазы в стабильную моноклинную фазу. ЧСДЦ получают путем создания твердого раствора различных окислов в решетке  $ZrO_2$  [4]. Эксперименты выполнялись на диоксиде циркония, стабилизированного 3 wt.%  $Y_2O_3$ . Содержание тетрагональной фазы определялось методом рентгеновского анализа и составило 78–85%. Содержание неравновесной кубической и равновесной моноклинной фаз находилось в интервале 12–15%. Поскольку в диоксиде циркония для фаз выполняется соотношение  $V_c < V_t < V_m$  (где  $V_i$  — объем элементарной ячейки соответствующей фазы), то воздействие гидростатического давления, характеризуемое уменьшением объема материала, должно приводить к стабилизации высокотемпературных фаз.

Эксперименты выполнялись на разработанной авторами установке [5]. Максимальное усилие, прикладываемое к алмазному индентору Виккерса, было увеличено до 100 Н с целью повышения эффективности использования методики микроиндентирования для высокопрочных кристаллов. В работе исследовалось влияние гидростатического давления на трещиностойкость стабилизированного диоксида циркония (кристаллы фианита) и ЧСДЦ (моно- и поликристаллы).



Зависимость трещиностойкости от давления.

1 — монокристалл ЧСДЦ, 2,3 — поликристаллы, предварительно обработанные перед спеканием давлениями 0.1 и 0.8 GPa соответственно, 4 — монокристалл стабилизированного диоксида циркония.

На рисунке приведены зависимости критического коэффициента интенсивности напряжения  $K_{Ic}$  от давления. Впервые для кристаллических твердых тел в моно- и поликристаллах из ЧСДЦ обнаруживается факт уменьшения  $K_{Ic}$  в интервале давлений 0.0001–0.4 GPa. Особенно значительно гидростатическое давление влияет на охрупчивание монокристаллов из ЧСДЦ:  $K_{Ic}(0)/K_{Ic}(0.4) = 2.5$  (кривая 3). Отметим и другую общую закономерность: характер зависимостей  $K_{Ic}(P)$  с минимумом при  $P = 0.4$  GPa одинаков как для моно-, так и для поликристаллов. Различный ход кривых 1 и 2 связан с неодинаковым содержанием частично стабилизированной тетрагональной фазы.

Монокристаллы полностью стабилизированного диоксида циркония показывают качественно иную зависимость  $K_{Ic}(P)$ , аналогичную полученным на других ионно-ковалентных кристаллах [1,2]. Для них наблюдается монотонный рост  $K_{Ic}(P)$  с увеличением давления (кривая 4). Высокая погрешность определения  $K_{Ic}$  в этих кристаллах и малое число экспериментальных точек обусловлены методическими особенностями эксперимента, которые заключались в необходимости исследования образцов толщиной  $0.5 \pm 0.1$  mm и использованием больших нагрузок на алмазный индентор ( $F > 50$  N). В совокупности с относительно низким значением  $K_{Ic}(0)$  это приводило после второго уклона индентора к разрушению образца даже при  $P = 1.0$  GPa.

Анализ полученных в данной работе результатов и сравнение их с данными ранее выполненных исследований для других хрупких ионно-ковалентных кристаллов [1,2] показывают, что ниспадающая ветвь зависимости  $K_{Ic}(P)$  обусловлена подавлением с помощью высокого гидростатического давления процесса превращения метастабильной тетрагональной фазы в стабильную моноклинную фазу, которой индуцируется растягивающим полем напряжения трещины. С ростом давления стабильность тетрагональной фазы возрастает. Образование моноклинной фазы, имеющей больший, чем тетрагональная фаза, объем, затрудняется. Таким образом, условия для блокировки распространения трещины значительно ослабевают.

Восходящая ветвь зависимости  $K_{lc}(P)$  определяется сжимающими напряжениями, действующими на образец со стороны жидкости высокого давления. Анализ этого механизма выполнен в работе [2], где было показано, что положительный знак  $dK_{lc}(P)/dP$  связан с наличием нескомпенсированной площади в устье трещины и увеличением вязкости рабочей жидкости с ростом давления. Отметим, что использованный в качестве рабочей жидкости бензин не обладает заметными поверхностно-активными свойствами.

Обнаруженный факт охрупчивания ЧСДЦ с ростом гидростатического давления показывает необходимость учета прочностных фаз высокого давления даже в опытах, выполняемых при атмосферном давлении. Ранее подобный вывод был сделан нами при исследовании микротвердости кристаллов с низкими давлениями полиморфных фазовых переходов [6]. Полученные результаты подтверждают модель, описывающую процесс разрушения в ЧСДЦ как результат перехода его из нестабильной тетрагональной фазы в стабильную моноклинную фазу, сопровождающийся увеличением объема.

В заключение авторы выражают благодарность И.Ю.Прохорову за полезные дискуссии и В.И.Тимченко за помощь при изготовлении поликристаллических образцов ЧСДЦ с заданными свойствами.

#### Список литературы

- [1] Акимов Г.Я., Прохоров И.Ю. Пробл. прочности, 7, 23 (1987).
- [2] Барбашов В.И., Ткаченко Ю.Б. ФТВД 5, 7, 12 (1995).
- [3] Gupta T.K., Lange F.F., Bechtold J.H. J. Mat. Sci. 13, 1464 (1978).
- [4] Рутман Д.С., Торопов Ю.С., Плинер С.Ю., Неуймин А.Д., Полежаев Ю.М. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония. М. (1985). 136 с.
- [5] Барбашов В.И., Ткаченко Ю.Б., Попов В.П. ФТВД 2, 1, 108 (1992).
- [6] Барбашов В.И., Ткаченко Ю.Б. ФТВД 1, 4, 53 (1991).