ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/55

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ В КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ ZrO_2
С ШЕВРОННЫМ НАДРЕЗОМ

Дерюгин Е.Е., Панин В.Е.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
dee@ispms.tsc.ru*

Проведено испытание двухконсольных керамических образцов ZrO_2 с шевронным надрезом методом расклинивания при комнатной температуре. Экспериментальные диаграммы «сила давления на клин P_1 -смещение клина λ_1 » обнаруживают длительную стадию нелинейного поведения материала перед разрушением образца. Проанализированы причины, способствующие отклонению механических характеристик материала от линейной зависимости.

При температуре ниже $100^\circ C$ керамика разрушается без признаков предварительной пластической деформации [1, 2]. Существенную роль в нелинейном поведении материала играет механизм развития трещины в зоне шевронного надреза. Однако, через узкую щель надреза экспериментально не удастся выявить наличие трещины, предшествующей разрушению образца. Расчеты показали, что разрушение образцов наступает, когда раскрытие надреза не превышает значения 0.2 мм. При этом раскрытие трещины в зоне шевронного надреза перед разрушением не будет превышать 10 мкм, что не позволяет обнаружить трещину.

С другой стороны, рентгенографический анализ поверхности разрушения исследованных образцов [3] обнаруживает следы фазового перехода тетрагональной фазы в моноклинную, при которой происходит увеличение параметра решетки на 4-5%. В связи с этим вопрос о вкладе фазового превращения в раскрытие надреза, а, следовательно, и в параметры трещиностойкости керамики ZrO_2 , требует выяснения.

В работе проведен анализ изменения податливости образца на нелинейной стадии диаграммы нагружения материала. Существенного изменения податливости образца за счет пластической деформации или фазового превращения ожидать не следует. В таком случае при полной разгрузке образца должна наблюдаться только остаточная неупругая деформация. В случае керамики ZrO_2 обратный фазовый переход исключен, поскольку моноклинная фаза устойчива при комнатной температуре [1, 2]. Опыты показали, что остаточная деформация при полной разгрузке образца отсутствует. Следовательно, на всех этапах практически только упругая деформация образца. Таким образом установлено, что нелинейная стадия диаграммы нагружения керамики ZrO_2 связана с развитием трещины в зоне шевронного надреза. В работе [4] получены аналитические уравнения зависимости упругого раскрытия надреза λ_e от длины трещины Δl в зоне шеврона при упругой деформации двухконсольного образца:

$$\lambda_e(l) = \frac{4P}{Ea} \left(\frac{l_0 + \Delta l}{b} \right)^3 k^{-1}, \quad (1)$$

где l_0 – длина надреза до шеврона, α – угол шевронного надреза, P – сила прогиба консолей,

$$k = \frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{l}{l_0} \left(1 - \frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \left[4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2\Delta l}{l_0} \right] \left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right]^{-2}.$$

Переход от силы давления на клин P_1 к силе прогиба консолей P определяется из условия равновесия сил при расклинивании:

$$P = \frac{P_1 \cdot \cos \gamma}{2(\sin(\beta/2) + \mu \cdot \cos(\beta/2))}, \quad (2)$$

где μ и γ – соответственно коэффициент трения и угол между клином и консолью, β – угол раствора клина. Важным в эксперименте является определение коэффициента трения μ .

С другой стороны, раскрытие надреза с большой точностью определяется экспериментально согласно уравнению

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

$$\lambda_e = 2\lambda_1 \cdot \operatorname{tg}(\beta/2), \quad (3)$$

где β – угол раствора клина.

Очевидно, что равенство значений раскрытия надреза, полученных с использованием уравнений (1) и (3), будет наблюдаться только при определенной длине трещины Δl . При этом на линейной стадии деформации $\Delta l = 0$.

Анализ полученной в работе информации показал, следующее:

- начало нелинейной стадии деформации связано с зарождением трещины на конце шеврона. Момент зарождения трещины характеризуется большим разбросом силы прогиба консолей P , связанным, по-видимому, с различной кривизной угла шеврона у разных образцов в результате механического нанесения надреза;
- зависимость силы прогиба от длины трещины свидетельствует о прерывистом характере распространения трещины. При этом сначала фронт трещины скачком замедляет значительную площадь шеврона, затем длина скачков уменьшается;
- несмотря на скачкообразный характер распространения трещины, зависимость податливости образца η от длины трещины получается гладкой. Рис. 1 демонстрирует незначительные отличия от образца к образцу значений податливости и критического коэффициента интенсивности напряжений.

Рис. 1

Литература

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика. – Томск: изд-во ТПУ, 2004.
2. F. Kern, H. Strumberger, R. Gadow. Effects of Stabilizer Content and Sintering Conditions on Y-TZP. Ceramics made from Stabilizer-Coated Nanopowders // J. Ceram. Sci. Technol., 09 [1] 7-18 (2018). DOI: 10.4416/JCST2017-00049 available online at: <http://www.ceramic-science.com>
3. Deryugin Ye., Narkevich N., Vlasov I., Panin V., Danilenko I., and Schmauder S. Study of fracture toughness of ZrO_2 ceramics // AIP Conference Proceedings 1909, 020033 (2017); view online: <https://doi.org/10.1063/1.5013714>
4. Deryugin Ye. Determination of Fracture Toughness Characteristics of Small-Size Chevron-Notched Specimens // In: Contact and Fracture Mechanics. Chapter 11 (2018) 215-234. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72643>