

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.7

Трещиностойкость керамики при скалывании кромки образцов

Г. А. Гогоци, С. П. Мудрик

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

Проанализированы современные методы определения трещиностойкости и показана необходимость разработки принципиально нового метода, основанного на скалывании кромки образцов. Приведены результаты экспериментальных исследований и обоснована целесообразность применения метода для сравнительной оценки керамики.

Ключевые слова: трещиностойкость, керамика, вязкость откола.

Современная керамика широко применяется в различных отраслях техники. Во многих случаях она используется не только как конструкционный, но и как функциональный материал, что обеспечивает создание новых, более совершенных устройств. Трудно переоценить ее значение при использовании в восстановительной медицине. Работоспособность керамики, являющейся хрупким материалом, зависит от ее сопротивляемости разрушению, для определения которой не всегда пригодны стандартные методы испытаний, предусматривающие изготовление сравнительно больших по размеру образцов [1]. Это – одна из причин продолжающегося развития обычных индентационных методов определения трещиностойкости, в соответствии с которыми испытания выполняются на небольших по размеру образцах (или даже на изделиях), так как зона повреждения материала индентором, внедряемым в него, измеряется несколькими кубическими миллиметрами. Однако результаты таких испытаний одной и той же керамики могут значительно отличаться от таковых, получаемых стандартными методами, и поэтому их используют только для сравнительных (приближенных) оценок [2]. Во многом это обусловлено принципиальным различием испытаний на трещиностойкость в рассматриваемых случаях: при использовании индентора анализируются остановившиеся трещины у углов отпечатка индентора, при обычных испытаниях – неконтролируемое распространение трещины, разрушающей образец.

Если же индентором скалывать кромку образца хрупкого материала [3], регистрировать усилие, вызывающее неконтролируемое распространение трещины, и измерять размер скола на образце, то имеет место примерно то же, что и при обычных испытаниях, но одновременно реализуются преимущества обоих методов. Ранее [4] показано, что характеристики, определяемые при краевом откалывании, коррелируют со значениями трещиностойкости, определяемыми по методу SEVNB [1], предусматривающему изгиб прямоугольного образца с V-образным надрезом.

Заметим, что первые испытания, основанные на сколе хрупкого материала, вероятно, проводились еще при выборе наиболее качественных камней для изготовления первобытных инструментов. При разработке метода скола кромки образца при испытаниях на трещиностойкость [4] использовались результаты исследования [5].

Суть предлагаемого метода заключается в том, что на полированном образце с прямоугольной кромкой визуально или посредством лупы выбирается точка приложения нагрузки, после чего скалывается его кромка с помощью инденторов Роквелла, Виккерса или Кнупа. Затем нагрузка, величина которой регистрируется компьютером, повышается до момента откола части кромки образца (рис. 1,а). По мере удаления точки приложения нагрузки от кромки увеличиваются величина разрушающей силы P_f и соответственно геометрические размеры скола на образце (рис. 1,б). С помощью бинокулярного оптического микроскопа на испытанном образце измеряются размеры “расстояния скола” (L на рис. 1,а), равные его толщине.



Рис. 1. Схема процесса краевого откалывания (а) и образец нитрида кремния GPSSN после испытания (б).

Зависимость разрушающая нагрузка P_f – расстояние скола L на диаграмме аппроксимируется прямой линией (рис. 2). Величина, характеризующая наклон этой прямой, называется “вязкостью скола E_t ” с размерностью Н/мм, соответствующей размерности скорости высвобождения упругой энергии разрушения. Поскольку ее значения не зависят от прилагаемой нагрузки, при которой они определяются, это позволяет отнести E_t к механическим характеристикам.

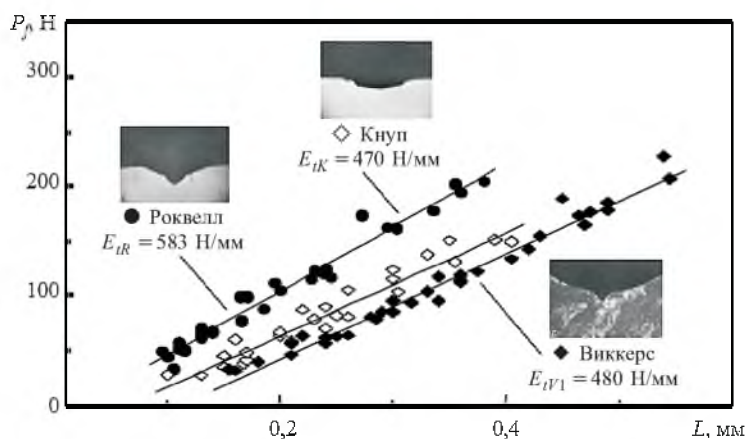


Рис. 2. Зависимости между разрушающей нагрузкой P_f и расстоянием откола L для нитрида кремния GPSSN при использовании разных типов алмазных инденторов.

Заметим, что в работе [3] проводились подобные испытания, но измерялась точка приложения нагрузки, что невозможно осуществить без специальной экспериментальной установки. При таких испытаниях также не учитываются специфические особенности разрушения керамики, что снижает достоверность получаемых оценок трещиностойкости. Отличительные особенности этого метода испытаний и предлагаемого, названного методом краевого разрушения (EF-метод), показаны в табл. 1. Там же приведен метод, вероятно, использовавшийся в эпоху неолита.

Т а б л и ц а 1

Сравнение методов испытания

Метод	Способ наблюдения	Разрушающий инструмент	Анализ сколов	Результаты анализа данных эксперимента	Результаты испытаний
Эпохи неолита	Невооруженный глаз	Камень	Изучение сколов на испытанном материале	Выбор более стойкого к разрушению камня	Производство высококачественных каменных инструментов
Ранее используемый [3]	Микроскоп специального испытательного прибора	Индентор в специальной испытательной машине	–	Вычисление величины трещиностойкости кромки (М)	Величина вязкости скола (М)
EF-метод	Невооруженный глаз или лупа	Индентор в стандартной испытательной машине	Измерение размеров сколов под микроскопом	Вычисление величины трещиностойкости кромки (E_t)	Данные для сравнения трещиностойкости керамики

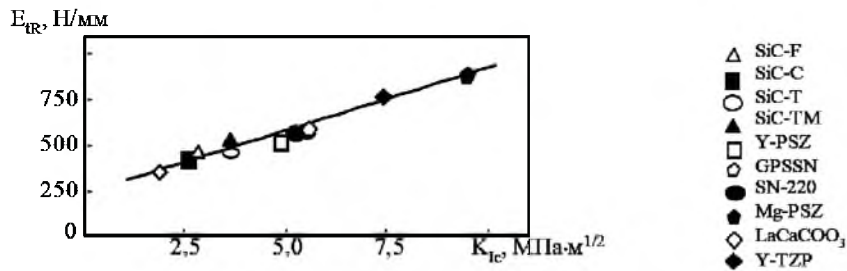
В продолжение приведенных ранее [4] исследований ниже дополнительно изучена краевая вязкость различной керамики и подтверждено, что ее значения находятся практически в прямой зависимости от величин критических коэффициентов интенсивности напряжений, определяемых при изгибе образцов с V-образным надрезом (рис. 3). Данные, приведенные на рис. 3, получены на керамических материалах (табл. 2): это карбид кремния (SiC–F, SiC–C, SiC–T, SiC–TM), отличающийся зернистостью и методом изготовления, диоксид циркония (Y-PSZ, Y-TZP, Mg-PSZ), а также нитрид кремния (GPSSN, SN-220) и перовскит LaCaCO_3 для катода топливного элемента. Все материалы, за исключением Mg–PSZ (мера хрупкости $\chi = 0,41$) и LaCaCO_3 ($\chi = 0,25$), являются линейно-упругими. Заметим, что механическое поведение керамики детально исследовалось в [1, 3].

Таким образом, метод краевого разрушения может использоваться для сравнительных оценок трещиностойкости различной керамики, например стоматологическая керамика, нанокерамика и т.п., особенно в случаях, когда испытание необходимо проводить на небольших по размеру образцах.

Т а б л и ц а 2

Исследованные материалы

Материал	Модуль упругости E , ГПа	Предел прочности, МПа	K_{Ic} , МПа·м ^{1/2} (SEVNB)	Вязкость скола E_{IR} , Н/мм	Способ изготовления
SiC-F (зерно < 1500 мкм)	424	281	2,5	417	Спекание
SiC-C (зерно < 5 мкм)	430	389	2,8	442	
SiC-T (зерно < 2 мкм)	433	600	3,6	469	Жидкофазное спекание
SiC-TM (зерно < 2 мкм)	430	651	3,6	538	
Y-PSZ	210	1300	4,9	522	Спекание
GPSSN	320	920	5,4	583	Горячее прессование
Y-TZP	206	1200	7,4	762	Изостатическое горячее прессование
SN-220	291	700	5,17	584	Горячее прессование
Mg-PSZ	206	521	9,44	882	Спекание
LaCaCO ₃	144	163	1,83	345	

Рис. 3. Зависимость между вязкостью скола E_{IR} и трещиностойкостью K_{Ic} .

Резюме

Проаналізовано сучасні методи визначення тріщиностійкості і показано необхідність розробки принципіально нового методу, що базується на сколюванні кромки зразка. Наведено результати експериментальних досліджень і обґрунтовано доцільність застосування методу для порівняльної оцінки кераміки.

1. *Gogotsi G. A.* Fracture toughness of ceramics and ceramic composites // *Ceramics Int.* – 2003. – **29**. – P. 777 – 784.
2. *Fischer H. and Marx R.* Fracture toughness of dental ceramics comparison of bending and indentation method // *Dental Materials.* – 2002. – **18**. – P. 12 – 19.

3. *Almond E. and McCormick N.* Constant geometry edge-flaking of brittle materials // *Nature*. – 1986. – **321**. – P. 53 – 54.
4. *Гогоци Г. А., Мудрик С. П.* Краевое скалывание нитридокремниевой керамики: методика и результаты // *Междунар. конф. “Новейшие технологии в порошковой металлургии и керамике”*. – Киев: Ин-т проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, 2003.
5. *McCormick N. and Almond E.* Edge flaking of brittle materials // *J. Hard Materials*. – 1990. – **1**. – P. 25 – 51.

Поступила 21. 06. 2004