

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный архитектурно-строительный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

Сборник научных трудов  
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

**21–24 апреля 2015 г.**

## **PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT**

XII International Conference of students and young scientists

**21–24 April, 2015**

Томск 2015

**ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ  
ХРУПКИХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

А.Д. Пшеничный, Т.Ю. Саблина, С.Н. Кульков

Научный руководитель: к.т.н. И.Н. Севостьянова

Томский государственный университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина 36, 634050

E-mail: adpshenichny@gmail.com

**EFFECT OF POROSITY ON THE ELASTIC PROPERTIES AND FAILURE PROCESSES,  
BRITTLE CERAMICS BASED ON ZIRCONIUM DIOXIDE AND ALUMINUM OXIDE**

A.D. Pshenichny, T.U. Sablina, S.N. Kulkov

Scientific Supervisor: PhD. I.N. Sevostyanova

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina ave. 36, 634055

E-mail: adpshenichny@gmail.com

*In this paper we study the behavior under compression and shear deformation of the porous ceramic alumina (porosity in the range of 18 to 70%) and from  $ZrO_2 - 3$  weight %  $MgO$  (porosity in the range 10 to 60%). Analysis of the stress-strain curves shows that there is a transition from the typically brittle to relatively dense ceramics to pseudo-plastic with a high level of porosity. The value of elastic modulus, shear modulus and Poisson's ratio decreases with increasing volume of porosity ceramic  $Al_2O_3$  and  $ZrO-MgO$ . A correlation was found between the values of Poisson's ratio and pseudoplastic properties of the porous ceramic  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2-MgO$ .*

В последнее время наблюдается повышенный интерес к исследованию структуры и свойств пористых керамических материалов, обусловленный все более расширяющимися областями их практического применения [1]. Большой научный и практический интерес вызывает керамика на основе оксида алюминия и диоксида циркония.

Известно, что пористость хрупких материалов может значительно влиять на их физические свойства (механические, термические и электрические). Модуль Юнга, модуль сдвига и коэффициент Пуассона - важнейшие параметры при изучении механического поведения современных материалов [1]. При этом в зависимости от объема порового пространства макроскопическое поведение керамических материалов может меняться от хрупкого до квазипластичного [2]. Поэтому исследование эволюции повреждений в объеме пористого хрупкого материала на разных масштабных уровнях и последующего разрушения в зависимости от скорости деформирования, стесненности деформации и др. представляет значительный интерес с точки зрения возникновения иерархии структур деформации и разрушения в подобных хрупких материалах (керамиках, горных породах).

Цель настоящей работы – изучение взаимосвязи между такими параметрами как пористость, предел прочности, модуль Юнга, модуль сдвига, измеренными в процессе механического нагружения при сжатии и сдвиге, а также структурами разрушения и деформации в объеме керамики на основе диоксида циркония и оксида алюминия.

## «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

Керамику  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZrO}_2\text{-MgO}$  с разным значением пористости (10-70%) изготавливали методами порошковой металлургии аналогично [3,4] из порошков  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZrO}_2\text{-3вес.}\% \text{MgO}$ , полученных путём термического разложения водных растворов азотно-кислых солей металлов в плазме высокочастотного разряда [3,4]. Требуемый уровень пористости в керамике обеспечивали спеканием образцов на воздухе в диапазоне температур от 1000 до 1650°C в течение 1 часа. Плотность спеченных образцов измеряли геометрическим методом. Остаточная пористость рассчитывалась из соотношения теоретической плотности к измеренной. Структуру образцов после спекания изучали методами оптической металлографии. Образцы подвергали механическим испытаниям на сжатие и сдвиг на испытательной машине Instron- 1185 с одновременной записью диаграммы нагружения (рис. 1). Скорость движения траверсы (нагружения) составляла 0,2 мм/мин. На построенных деформационных кривых « $\sigma$ - $\varepsilon$ » (рис. 2) выделяли прямолинейный участок, соответствующий упругой деформации образцов. Эффективные модули упругости ( $E$ ) и модули сдвига ( $G$ ) определяли как тангенс угла наклона касательной к прямолинейному участку кривой зависимости « $\sigma$ - $\varepsilon$ ».

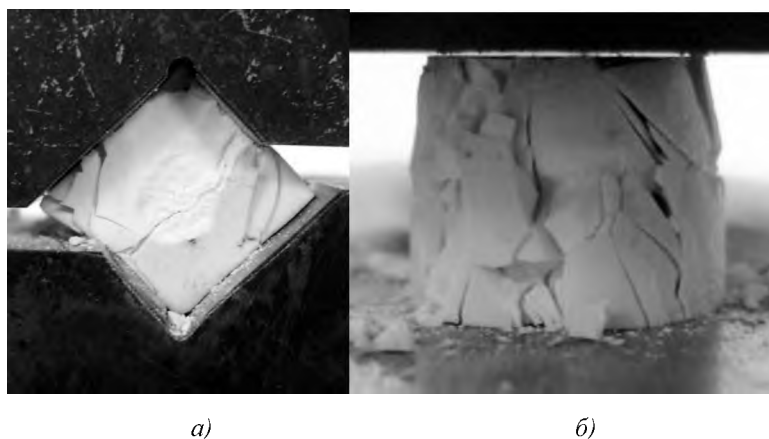


Рис 1. Образец  $\text{Al}_2\text{O}_3$  после испытания на сдвиг а), на сжатие б).

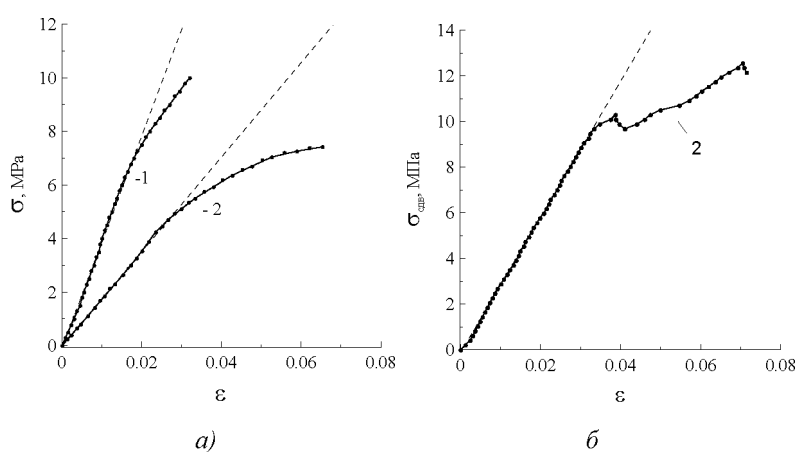


Рис 2. Фрагменты диаграмм «напряжение-деформация», полученных при испытании на сжатие (кривая 1) и сдвиг (кривая 2) с пористостью 50% б), выше 60% в).

Для измерений упругих характеристик керамики неразрушающим методом в работе были измерены скорости продольной ( $V_L$ ) и поперечной ( $V_T$ ) звуковых волн с использованием ультразвукового дефектоскопа на фазированной антенной решётке (ФАР) HARFANG VEO 16:128. Применялся датчик ФАР работающий на частоте 10 МГц, содержащий линейный массив из 64 излучающих элементов.

## «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

Сфокусированный ультразвуковой пучок формировался 16 центральными элементами массива. Коэффициент Пуассона вычисляли по формуле [5].

На основе проведенных исследований сделаны выводы

1. Анализ кривых напряжение-деформация пористой (в диапазоне пористости от 18 до 70%) керамики из оксида алюминия показал, что при деформации сжатием и сдвигом имеет место переход от типично хрупкого разрушения для относительно плотной керамики ( $\leq 20\%$  пористости) до псевдо-пластичного при высоком уровне пористости (выше 50%).

2. Отличие в деформационном поведении керамики  $ZrO_2$ -MgO состояло в том, что переход от типично хрупкого состояния для относительно плотной керамики до псевдо-пластичного при высоком уровне пористости осуществлялся при меньшем уровне пористости, по сравнению с керамикой  $Al_2O_3$ .

3. Значения модуля упругости, модуля сдвига и коэффициента Пуассона уменьшаются с увеличением объема порового пространства керамик  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$ -MgO, что коррелирует с появлением множественного растрескивания в ходе деформации керамики с большим уровнем пористости.

4. Показано, что при деформации сжатием процесс разрушения керамики контролируется сдвиговыми напряжениями, которые приводят к формированию во внутреннем объеме образцов областей разрушения в виде конусов, размер и местоположение которых зависит от объема порового пространства.

5. Меньший угол раствора ( $30^\circ$ ) конусообразной зоны разрушения относительно плотной керамики  $ZrO_2$ -MgO, по сравнению с  $Al_2O_3$  (угол раствора которой равен  $45^\circ$ ), обусловлен меньшей по величине силой трения между захватом (плитой) испытательной машины и прилегающими к ним торцами образца диоксид-циркониевой керамики, повышенная вязкость разрушения которой, как известно, заметно улучшает её триботехнические характеристики (износостойкость, коэффициент трения).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ren F., Case E.D., Morrison A., Tafesse M., Baumann M.J. Baumann Resonant ultrasound spectroscopy measurement of Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio as a function of porosity for alumina and hydroxyapatite // *Philosophical Magazine*. -2009. -V. 89. -Т.14. -P. 1163–1182.
2. Стефанов Ю.П. Режимы дилатансии и уплотнения развития деформации в зонах локализованного сдвига // *Физ. мезомех.* – 2010. - Спец выпуск 13. - С.44-52.
3. Григорьев М.В., Кульков С.Н. Фазовый состав, структура и удельная поверхность порошковых систем на основе корунда различной дисперсности // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. – 2009.- Т.3. - № 2. – С. 294-300.
4. Саблина Т.Ю., Савченко Н.Л., Мельников А.Г., Кульков С.Н. Спекание в вакууме керамики на основе  $ZrO_2$  // *Стекло и керамика*.-1994.-N 5-6.-С.27-29.
5. Phani K. K. Correlation between ultrasonic shear wave velocity and Poisson's ratio for isotropic porous materials // *Journal of Materials Science* – 2008. – №43. – P.316-323.