



МИНОБРНАУКИ РФ  
Российский фонд  
фундаментальных исследований  
Национальный исследовательский  
Томский государственный университет  
НИИ прикладной математики и механики  
Томского государственного университета  
Физико-технический факультет  
Совет молодых учёных ТГУ



**VIII Всероссийская молодежная научная конференция  
«Актуальные проблемы современной механики  
сплошных сред и небесной механики – 2018»  
г. Томск, 26–28 ноября 2018 г.**

**VIII All-Russian Scientific Conference  
«Current issues of  
continuum mechanics and celestial mechanics – 2018»,  
November, 26–28, 2018**

Томск-2019

Результаты проведенных исследований можно трактовать как качественные тесты, так как не были получены определяющие характеристики температурной деформации композиционных шнуров, но эксперименты подтверждают результаты экспериментов, представленных в иностранных источниках.

Исследование композиционных шнуров в качестве активного силового элемента двигателя является перспективной разработкой, но требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

### Литература

1. Хейнсис С. Новый взгляд на искусственные мышцы // Известия Национальной академии наук 2016. Т. 113. № 42. С. 11709–117016.
2. Азиз С., Форуги Дж., Браун Х.Р. и Спинкс Г.М. Управляемое и масштабируемое торсионное воздействие на скрученные волокна из нейлона 6 // Journal of Polymer Science. 2016. 54. С. 1278–1286.
3. Ламута С., Месселот С., Тауфик С. Теория приведения в действие при растяжении армированных волокнами спиральных мышц. Smart Materials and Structures. 2018. Т. 27, № 5.

### References

1. Carter S. Haines et al. New twist on artificial muscles. PNAS 2016. Vol. 113. № 42. Pp. 11709–117016.
2. Aziz S., Foroughi J., Brown H.R and Spinks G.M. Controlled and Scalable Torsional Actuation of Twisted Nylon 6 Fiber // Journal of Polymer Science. 2016. 54. P. 1278–1286.
3. Lamuta C., Messelot S., Tawfik S. Theory of the tensile actuation of fiber reinforced coiled muscles. Smart Materials and Structures. 2018. Vol. 27, № 5.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ С РАЗЛИЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ ПОРИСТОСТИ

В.А. Микушина<sup>1,2</sup>, И.Ю. Смолин<sup>1,2</sup>, А.С. Кульков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия  
mikushina\_93@mail.ru

**Ключевые слова:** пористая керамика, прочность, трехточечный изгиб, мезоуровень, конечно-разностный метод, разрушение.

**Аннотация.** Выполнены экспериментальные и численные исследования прочности при трехточечном изгибе образцов алюмооксидной керамики с различным значением пористости (от 15 до 30%). Полученные значения предела прочности варьируются от

150 до 280 МПа. Моделирование особенностей разрушения образцов керамики с пористой структурой выполнено на мезоуровне в двумерной постановке в условиях плоской деформации с использованием конечно-разностного метода Уилкинса. В качестве критерия разрушения использован критерий поврежденности с учетом вида напряженного состояния (параметра Лодэ–Надаи). Проанализировано влияние структуры пористой керамики на характер локальных разрушений в мезообъемах материала, а также на макроскопическую диаграмму деформирования.

## THE STUDY OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ALUMINA CERAMICS WITH DIFFERENT POROSITY VALUES

Valentina A. Mikushina<sup>1,2</sup>, Igor Yu. Smolin<sup>1,2</sup>, Aleksey S. Kulkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russian Federation  
mikushina\_93@mail.ru

**Keywords:** porous ceramics, strength, three-point bending, meso-level, finite-difference method, fracture.

**Abstract.** The experimental and numerical studies of the strength in three-point bending of alumina ceramics samples with porosity values varying from 15 to 30 % were performed. The obtained values of flexural strength range from 150 to 280 MPa. The modeling of fracture features of ceramic samples with porous structure is performed at the meso level in a two-dimensional statement under plane-strain conditions using the finite-difference method. The damage criterion with regard to the stress state type (Lode parameter) was used. The influence of the porous ceramics structure on local fracture patterns in material mesovolumes as well as on the macroscopic deformation diagram was analyzed.

В настоящей работе проведены экспериментальные и численные исследования прочности образцов алюмооксидной керамики с различным значением пористости (от 15 до 30%). Прямоугольные образцы, полученные из порошка  $Al_2O_3$  методом шликерного литья, испытывали на трехточечный изгиб до разрушения. Полученные значения предела прочности варьировались от 150 до 280 МПа. Эксперимент показал, что на образцах встречаются прямолинейные трещины, параллельные оси нагружения, и криволинейные.

Численное исследование механического поведения образцов керамики на основе  $Al_2O_3$  с пористой структурой выполнено на мезоуровне. В качестве геометрических моделей были рассмотрены объемы с явным учетом пор. Пористая структура мезообъема взята из данных электронной микроскопии исследуемых образцов. Для каждого значения пористости было смоделировано поведение трех различных компьютерных моделей мезообъемов в условиях одноосного растяжения. Моделирование проведено в двумерной постановке в условиях плоской деформации с использованием конечно-разностного метода Уилкинса [1]. Для описания механическо-

го отклика пористых керамических материалов на мезоуровне использованы определяющие соотношения, учитывающие накопления неупругих деформаций и повреждений, которые вызывают деградацию прочностных свойств [2, 3]. В качестве критерия разрушения использован критерий поврежденности с учетом вида напряженного состояния, определяемого по параметру Лоде–Надаи [3, 4].

В результате проведенных расчетов проанализировано влияние структуры пористой керамики на характер локальных разрушений в мезообъемах материала, а также на макроскопическую диаграмму деформирования. Наличие сильных концентраторов напряжений в образцах определяет место зарождения трещин и влияет на их распространение в моделируемых мезообъемах образца. Диаграмма деформирования имеет характерный для хрупких материалов вид. Показано, что с уменьшением пористости нелинейно возрастает модуль Юнга и прочность материала. Полученные из расчетов значения прочности хорошо согласуются с экспериментальными значениями для всех значений пористости [5].

Исследование выполнено при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ и в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, направление III.23.

### Литература

1. *Wilkins M.L.* Computer Simulation of Dynamic Phenomena. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 246 p.
2. *Smolin I.Yu., Makarov P.V., Eremin M.O., Matyko K.S.* Numerical simulation of mesomechanical behavior of porous brittle materials // Proc. Struct. Integrity. 2016. Vol. 2. Pp. 3353–3360.
3. *Еремин М.О.* Применение метода механической аналогии для численного моделирования разрушения керамических композитов  $ZrO_2-Al_2O_3$  в трехмерной постановке // Физическая мезомеханика. 2015. Т. 18. № 3. С. 105–112.
4. *Макаров П.В., Еремин М.О.* Моделирование разрушения керамических композиционных материалов при одноосном сжатии // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. № 1 (21). С. 61–74.
5. *Kulkov A.S., Smolin I.Yu., Mikushina V.A.* Investigation of mechanical response of  $Al_2O_3$  ceramic specimens to loading with consideration for their structural features // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2051. Pp. 020162-1–020162-4.

### References

1. *Wilkins M.L.* Computer Simulation of Dynamic Phenomena. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 246 p.
2. *Smolin I.Yu., Makarov P.V., Eremin M.O., Matyko K.S.* Numerical simulation of mesomechanical behavior of porous brittle materials // Proc. Struct. Integrity. 2016. Vol. 2. Pp. 3353–3360.
3. *Eremin M.O.* Numerical simulation of fracture of  $ZrO_2-Al_2O_3$  ceramic composites. Phys. Mesomech. 2016. 19(4). Pp. 452–458.

4. *Makarov P.V., Eremin M.O.* Simulation of ceramic compositional materials fracture upon uniaxial compression // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mehanika. Tomsk State University // Journal of Mathematics and Mechanics. 2013. № 1 (21). Pp. 61–74.

5. *Kulkov A.S., Smolin I.Yu., Mikushina V.A.* Investigation of mechanical response of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic specimens to loading with consideration for their structural features // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2051. pp. 020162-1–020162-4.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ТИТАНА VT1-0 И СПЛАВА Zr-1 МАС. % NB В РЕЖИМЕ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

**А.М. Майрамбекова<sup>1</sup>, А.Ю. Ерошенко<sup>2</sup>, М.В. Банников<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия

<sup>3</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, Россия

aikol@ispms.tsc.ru

**Ключевые слова:** титан, сплав циркония, ультрамелкозернистая структура, гига-цикловая усталость.

**Аннотация.** В данной работе изучены особенности микроструктуры и усталостное разрушение технически чистого титана марки VT1-0 и сплава Zr-1 мас. % Nb в различных структурных состояниях. Проведены усталостные испытания для образцов титана VT1-0 и сплава Zr-1 мас.% Nb в ультрамелкозернистом, мелкозернистом и крупнокристаллическом состояниях в режиме гигацикловой усталости. Установлено, что формирование ультрамелкозернистой структуры в титане VT1-0 и сплаве Zr-1 мас. % Nb приводит к увеличению предела усталости титана VT1-0 в 1.3 раза, а сплава Zr-1 мас. % Nb в 1.7 раза в гигацикловой области по сравнению с мелкозернистым и крупнокристаллическим состоянием.

## STUDY OF THE FATIGUE FAILURE OF TITANIUM VT1-0 AND ZR-1 WT. % NB ALLOY IN THE GIGACYCLE FATIGUE MODE

**A.M. Mairambekova<sup>1</sup>, A.Yu. Eroshenko<sup>2</sup>, M.V. Bannikov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Russia

<sup>2</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia

<sup>3</sup>Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS, Russia

aikol@ispms.tsc.ru

**Keywords:** titanium, zirconium alloy, ultrafine-grained structure, gigacycle fatigue.

**Abstract.** In this paper we studied the microstructure features and fatigue failure of technically pure titanium VT1-0 and Zr-1 wt. % Nb alloy at different structural states. Fatigue testing of ultrafine-grained, fine-grained and coarse-grained VT1-0 and Zr-1 wt% Nb alloy