

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**Перспективные материалы**  
**с иерархической структурой**  
**для новых технологий**  
**и надежных конструкций**  
**9 - 13 октября 2017 года**  
**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Томск – 2017

#### 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

---

Образцы диаметром ~ 27.5 мм и толщиной ~ 5 мм устанавливались на охлаждаемую водой державку и взвешивались до и после эксперимента. Температура их поверхности в процессе испытаний измерялась с помощью тепловизора Flir SC 7700 с просветом через разрядную камеру, т.к. для инфракрасного излучения, используемого в тепловизоре, плазма в ней является прозрачной. Испытания полученных образцов композитов показали, что образцы слоистых высокотемпературных керамических композитов при интенсивных термических воздействиях сохраняют форму и не претерпевают потери массы вплоть до 2800 °С.

### ТЕРМОУДАРНЫЕ НАГРУЖЕНИЯ КЕРАМИКИ СОСТАВОВ $ZrO_2(Y_2O_3)$ И $ZrO_2(MGO)$

<sup>1</sup>Деркач Е.А., <sup>1</sup>Далюк И.К., <sup>1,2,3</sup>Буюкова С.П., <sup>1,2,3</sup>Кульков С.Н.

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,*

<sup>2</sup>*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия,*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия  
eadtomsk@yandex.ru*

Современные тенденции развития в области аэрокосмического машиностроения диктуют требования к созданию новых технологических материалов способных работать в условиях перепадов температур. Одним из перспективных материалов для изготовления элементов теплозащиты ракетно-космической техники и высокоэнергетических систем является керамика на основе диоксида циркония, за счет сочетания высокой температуры плавления и аномально низкой теплопроводности. Однако, материалы, работающие в условиях высоких температур, подвергаются резкому нагреванию, либо охлаждению, то есть, термоударам, что является причиной выхода из строя элементов теплозащиты. Влияние термоударных воздействий на структуру циркониевой керамики на сегодняшний день изучено не полностью.

Целью работы являлось исследование влияния термоударных нагрузений на структурно-фазовое состояние керамики на основе диоксида циркония  $ZrO_2(Y_2O_3)$ . Термоударные нагрузки осуществлялись охлаждением образцов от 1000°С погружением в воду или обдувом в потоке воздуха. Анализ микроструктуры осуществлялся методом оптической микроскопии. Исследования фазового состава, размеров областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей, осуществлялись методом рентгеновской дифракции.

Данные рентгеноструктурного анализа показали, что термоударные воздействия не оказывали влияния на фазовый состав керамики состава  $ZrO_2(Y_2O_3)$ , на всех рентгенограммах наблюдалась тетрагональная

#### 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

---

модификация диоксида циркония. В опубликованных ранее работах показано, что при термоударных нагружениях керамики состава  $ZrO_2(MgO)$  происходит интенсивное сокращение доли тетрагональной и возрастание моноклинной фазы в результате распада твёрдого раствора с выходом катионов  $Mg^{+2}$  из решётки  $ZrO_2$ .

Рассчитанные значения областей когерентного рассеяния для всех исследуемых образцов состава  $ZrO_2(Y_2O_3)$  показали, что величины ОКР сохранялись неизменными и составили около 65 нм вне зависимости от числа термоударов в отличие от керамики состава  $ZrO_2(MgO)$ , где термоударные нагружения приводили к уменьшению размеров ОКР с 80 до 25 нм. Такой результат объясняется распадом твёрдого раствора  $MgO$  и сокращением доли высокотемпературной фазы.

Анализ микроструктуры исследуемых образцов показал, что в процессе термоударных нагружений на поверхности керамики состава  $ZrO_2(Y_2O_3)$  образовывались термические трещины за счет сжимающих напряжений, возникающих во время стремительного охлаждения. Увеличение числа циклов термоударов приводило к формированию фрагментарной структуры. Поверхность керамики состава  $ZrO_2(MgO)$  также представлена блочной структурой, не претерпевшей изменений с увеличением числа нагружений. При этом фрагментация имеет поверхностный характер, что обеспечивает сохранение целостности керамики в макрообъёме. При термоударных нагружениях на воздухе не наблюдается формирования блочной структуры, есть единичные трещины, которые также как и в случае с охлаждением в воду, не приводили к разрушению образцов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что термоударные нагружения керамики состава  $ZrO_2(Y_2O_3)$  не приводили к изменению фазового состава, не оказали влияния на значения областей когерентного рассеяния всех исследуемых образцов состава  $ZrO_2(Y_2O_3)$ , в отличие от керамики состава  $ZrO_2(MgO)$ . Термоударные воздействия приводили к формированию блочной структуры во всех образцах, охлаждаемых в воду, причем увеличение числа циклов приводило к измельчению фрагментарной структуры только у образцов состава  $ZrO_2(Y_2O_3)$ . В керамике, обдуваемой воздухом, не наблюдалось формирования блочной структуры. Все исследуемые образцы сохраняли свою целостность в макрообъёме.