

УДК 539.37; 539.42

DOI: 10.17223/00213411/62/8/121

А.Г. БУРЛАЧЕНКО¹, Ю.А. МИРОВОЙ^{1,2}, Е.С. ДЕДОВА^{1,2}, С.П. БУЯКОВА^{1,2,3}

МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СЛОИСТОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА ZrB_2 – ZrO_2 – SiC *

Изучены свойства и особенности разрушения при трехточечном изгибе и диаметральной сжатии теплозащитного композита ZrB_2 – 20 % SiC и теплозащитного слоистого керамического композита, состоящего из слоев ZrB_2 – 20 % SiC с добавкой ZrO_2 от 0 до 100 %. Увеличение содержания ZrO_2 в слоях привело к заметному уменьшению величины $E_{уз}$ и увеличению коэффициента термического линейного расширения. В слоистом композите в приграничных объемах слоя со стороны, прилегающей к соседнему слою с меньшим коэффициентом термического расширения, формируются растягивающие остаточные напряжения, а со стороны слоя, прилегающий к последующему слою с большей величиной α , формируются сжимающие остаточные напряжения. Твердость в областях действия сжимающих напряжений превышала твердость в областях действия растягивающих напряжений. Рельеф поверхности откола образцов свидетельствует, что независимо от условий нагружения при трехточечном изгибе бифуркация магистральной трещины произошла на границе раздела между слоями композита с наибольшей разницей в коэффициентах термического расширения с содержанием ZrO_2 30 и 70 %. Энергия разрушения слоистого керамического композита ZrB_2 – SiC – ZrO_2 значительно превышала таковую для керамики ZrB_2 – 20 % SiC .

Ключевые слова: слоистый керамический теплозащитный композит, разрушение, растягивающие и сжимающие остаточные напряжения.

Введение

Керамические композиционные материалы со слоистой структурой характеризуются комплексом свойств, не достигаемым керамическими композитами с иной структурной иерархией. Области использования слоистых керамик весьма разнообразны – от приборостроения до ракетостроения. Кроме того, в последнее время создание слоистой структуры в керамиках рассматривается как один из подходов увеличения их трещиностойкости и надёжности за счёт рассеяния энергии разрушения на бифуркацию или остановку трещин на границах раздела слоёв [1–6].

Развитие повреждений в слоистых керамических композитах при механическом воздействии в значительной мере определяется напряжениями, формируемыми на границах раздела слоёв вследствие разницы коэффициентов термического расширения (α). Разрушение слоистых керамик подробно изучено на материалах с периодической укладкой слоёв [1]. Чередование слоёв с разными α приводит к распределению в них растягивающих и сжимающих напряжений. После охлаждения слои с большим коэффициентом α остаются под действием растягивающих напряжений, а слои с меньшим α – под действием сжимающих напряжений. Сжимающие остаточные напряжения способствуют закрытию трещин и тем самым сдерживают их распространение.

Однако не всегда чередование слоёв является решением задач, возлагаемых на слоистые керамические композиты, условиями их эксплуатации. В данной работе изучен отклик на механическое воздействие керамического композита, состоящего из слоёв ZrB_2 – SiC с добавкой ZrO_2 . Такого рода композит представляет интерес в качестве материала тепловой защиты поверхности ракетно-космической техники и высокоэнергетических систем. Структурная иерархия композита обеспечивает уменьшение теплопроводности от фронтальной поверхности композита (ZrB_2 – SiC) к тыльной поверхности (ZrO_2). Композит ZrB_2 – SiC характеризуется высокой устойчивостью к термическим воздействиям вплоть до 2500 °С. Оксид циркония имеет низкую теплопроводность (от 2.5 до 3 Вт/(м·К) [7], что делает его весьма привлекательным с точки зрения теплозащитного материала. Однако сочетание низкой теплопроводности и высокого коэффициента термического расширения ($8.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (при 20–1000 °С) [8] оказывает отрицательное влияние на термическую стойкость ZrO_2 . Использование оксида циркония в слоистых композитах в качестве материала тыльного слоя, контактирующего с металлической конструкцией, позволяет избежать значительных термических нагрузок на него и увеличить теплозащитные функции композиционного материала в целом. В полученном композите все слои отличаются величиной коэффициента термиче-

* Исследования выполнены по программе ФНИ на 2018–2020 гг., проект III.23.2.3.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>