

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КЕРАМИКЕ*

В.А. Зими́на, И.Ю. Смо́лин

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

На основе полученного аналитического решения исследованы распределения остаточных напряжений в дискообразных образцах композита, состоящего из слоев керамики разного состава при остывании от температуры спекания до комнатной температуры. Показано, что варьирование толщин слоев позволяет управлять положением максимальных напряжений, а учет диффузионных зон в области сопряжения уменьшает величину опасных напряжений пропорционально толщине этих зон. Отмечено, что для инженерных оценок следует использовать значения физико-механических характеристик компонентов композита для высоких температур, а не среднего значения температуры.

Ключевые слова: *остаточные напряжения, высокотемпературная керамика, композит, многослойная структура, аналитическое решение.*

Введение

В последние годы значительный интерес вызывают ультравысокотемпературные керамические материалы, предназначенные для тепловой защиты изделий разного назначения. Это связано с широким спектром их применения и превосходным сочетанием свойств, таких как высокие температура плавления, модуль упругости, твердость, хорошая износостойкость, электро- и теплопроводность, хорошая устойчивость к ползучести и отличная химическая стабильность [1–3].

Разные области промышленности, такие как аэрокосмическая, автомобильная, биомедицинская и оборонная, нуждаются в функционально-градиентных и слоистых композиционных материалах. Благодаря изменению состава или структуры этих материалов изделия из них обладают многофункциональными характеристиками и находят активное применение во многих областях. При оценке прочности изделий из слоистых композитов необходимо учитывать термические остаточные напряжения, которые образуются в процессе остывания композита. Они возникают на границах раздела, где наблюдается разница коэффициентов теплового расширения между соседними слоями. При высоких термических напряжениях в композитах могут образовываться трещины, особенно на границе раздела. Появление и распространение трещин может привести к разрушению образца из композитного материала.

Согласно имеющимся оценкам [4–6], чередование слоев в слоистых композитах приводит к появлению сжимающих и растягивающих напряжений на разных сторонах границы раздела. При этом сжимающие напряжения выполняют положительную функцию, сдерживая распространение трещин, но отрицательные напряжения могут быть опасны, провоцируя образование новых и рост имеющихся трещин. Конкретный состав композита и форма изделий из него способны существенно влиять на количественные значения возникающих внутренних напряжений, поэтому кроме качественных результатов об уровне и знаках температурных напряжений большой интерес в инженерной практике представляет количественная оценка внутренних температурных напряжений в изделиях из композитов того или иного состава.

При определении остаточных напряжений широко используются как аналитические, так и численные методы [7–13]. В работе [7] разработаны математические модели температурных напряжений и деформаций для использования при производстве многослойных конструкций и приведены примеры решения разных задач на основе этих моделей точными и приближенными аналитическими методами.

Авторы работы [8] на примере цилиндра с переменными физическими свойствами среды в пределах каждого цилиндрического слоя разработали методику получения приближенных аналитических решений квазистатических задач термоупругости в условиях плоского напряженного и

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2022-0003.

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>