

В. А. Дьяконов¹, д. т. н. Е. С. Лукин², к. т. н. Н. В. Нефедова¹,
к. т. н. Б. Ф. Пронин¹, Е. Н. Филатов¹

¹ ОАО «Композит», г. Королёв Московской обл., Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»,
Москва, Россия

УДК 661.682:66.021.4

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КЛАССА «ОКСИД – ОКСИД»

Представлены результаты разработки и исследования радиотехнических теплозащитных композиционных материалов. Показаны основные свойства композиционных материалов класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ и исследованы прочностные и теплофизические свойства во всем интервале рабочих температур. Представлены результаты исследований повышения температуростойкости материалов класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$. Показано влияние тугоплавких оксидов ZrO_2 и Cr_2O_3 , введенных в структуру материала с помощью водорастворимых прекурсоров, на кратковременную температуростойкость. Проведены сравнительные испытания исходных и модифицированных материалов при нагреве в высокотемпературном газовом пламени и произведена оценка полученных результатов.

Ключевые слова: теплозащитные материалы, интенсивный нагрев, диэлектрические свойства, радиотехнические материалы.

Для теплозащиты радиотехнических средств от нагрева применяются радиотехнические теплозащитные материалы (РТЗМ). В настоящее время широко применение нашли как керамические, так и композиционные радиотехнические теплозащитные материалы на основе кремнийорганических смол, фосфатных связующих и кремнезольей.

Проведенные исследования показали, что наиболее высокие радиотехнические и теплозащитные характеристики сочетают в себе композиционные материалы класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$, полученные многократной пропиткой тканого кварцевого наполнителя кремнезолью с последующей сушкой и термообработкой. Материалы класса $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ отличаются термостойкостью и высокими, стабильными в широком диапазоне температур диэлектрическими характеристиками. Кроме того, эти материалы по сравнению с кварцевой керамикой имеют более высокие значения ударной вязкости и, соответственно, трещиностойкости, особенно в условиях теплового удара. Основные характеристики материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ одной из разработанных марок [1] приведены ниже:

Максимальная температура эксплуатации (без оплавления), °С.....	1400
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1500–1650
Открытая пористость, %.....	20–25
Предел прочности при изгибе, МПа:	
по основе.....	38–41
по утку.....	70–75
Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц при 20 °С.....	≤3,0
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц при 20 °С.....	≤0,005

Наиболее важное свойство радиотехнических материалов — диэлектрические характеристики. Современным требованием, предъявляемым к диэлектрической проницаемости материала, является высокая стабильность показателя при изменении температур от 20 °С до максимальной рабочей температуры. Кроме того, к данному классу материалов предъявляются требования по механическим свойствам при высоких температурах. На рис. 1 представлены зависимости прочностных характеристик материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры.

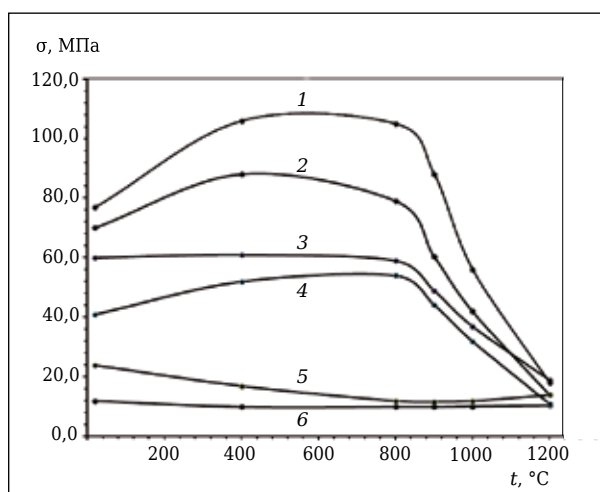


Рис. 1. Зависимость прочностных свойств материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры t : 1 — предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ по утку; 2 — предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ по утку; 3 — $\sigma_{сж}$ по основе; 4 — $\sigma_{изг}$ по основе; 5 — предел прочности при растяжении $\sigma_{рст}$ по утку; 6 — $\sigma_{рст}$ по основе

Для обеспечения тепловой защиты радиоаппаратуры данные материалы должны обладать минимальной теплопроводностью λ и максимальной теплоемкостью C_p . На рис. 2 представлены зависимости теплофизических характеристик материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры.

Дальнейшее повышение температуростойкости данного материала может быть связано с модифицированием матриц или границы раздела волокно – матрица тугоплавкими оксидами, например ZrO_2 и Cr_2O_3 . В качестве модификаторов были опробованы растворимые соли Cr и Zr. Из справочных данных [2] известно, что температуры плавления оксида хрома и циркония составляют 2265 и 2715 °C соответственно. Введение этих модифицирующих оксидов в материал должно препятствовать плавлению и спеканию образца, а следовательно, и сохранять прочность материала. Для наглядного сравнения вклада модифицирующих добавок в температуростойкость материала изготовили образцы с разным содержанием тугоплавких оксидов.

Для проведения модификации материала были взяты заготовки одинаковой геометрической формы, проведено определение их массы и плотности. После этого образцы разделили на партии и загрузили в автоклав. Перед началом пропитки было проведено вакуумирование заготовок с целью освобождения каналов и пор для поступления жидкости. После выдержки под вакуумом в камеру поступал пропитывающий раствор. После заполнения камеры пропитывающим раствором остаточное давление выравнивалось с атмосферным и поднималось до определенной величины. Затем образцы выдерживали в этих условиях в течение установленного времени, после чего давление стравливали, образцы извлекали из автоклава и подвергали сушке и термообработке. После многократных пропиток в каждой партии были отобраны 9 образцов с разным содержанием модифицирующих оксидов.

Образцы с разным содержанием модифицирующих добавок оксидов хрома и циркония были испытаны на стойкость к высоким температурам и термическому удару при быстром нагреве в пламени газовой горелки.

Перед началом сравнительного испытания образцов пропан-кислородное пламя регулировали до появления стабильного высокотемпературного (~2500 °C) окислительного пламени. Затем поочередно, в случайном порядке, образцы помещали в зажим штатива, закрепленный на фиксированном расстоянии от сопла горелки, и выдерживали в пламени в течение 5 мин. После этого испытанный образец извлекали из зажима и на его место помещали следующий. Образцы испытывали в максимально равных условиях: пламя, время испытания, расход газа и расстояние от сопла горелки до поверхности материала сохраняли неизменными (рис. 3).

На рис. 4 представлены модифицированные образцы и образцы сравнения, прошедшие испытание

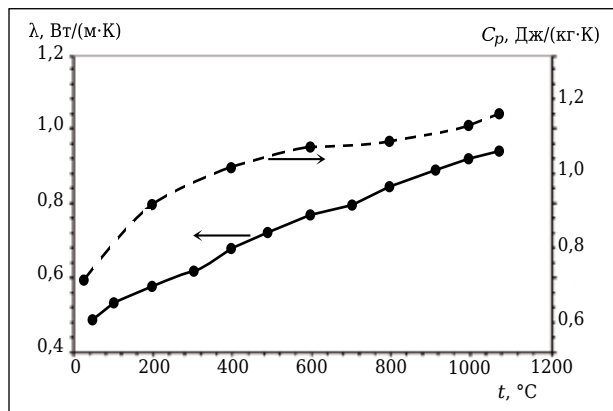


Рис. 2. Зависимость величины теплопроводности λ и теплоемкости C_p материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ от температуры t

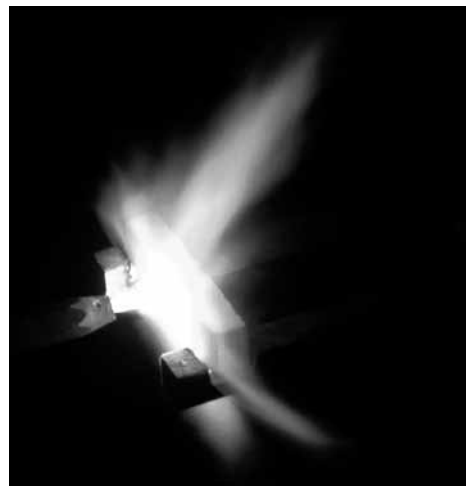


Рис. 3. Проведение предварительных оценочных испытаний модифицированного материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$

на обжиг в высокотемпературном пламени, видны полученные деформации. По фотографиям на рис. 4 и данным таблицы видно, что содержание модификатора влияет на глубину проплавления материала.

По результатам проведенных исследований и предварительных испытаний установлено, что модификация материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ путем пропитки

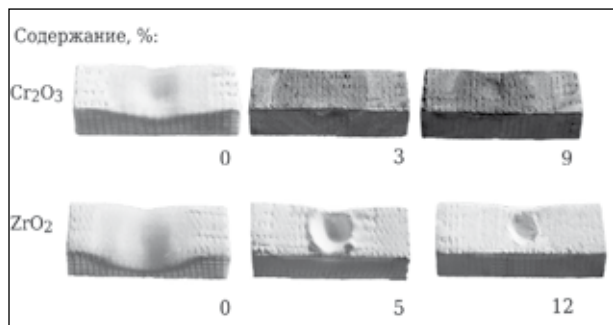


Рис. 4. Модифицированные образцы и образцы сравнения, прошедшие испытание на обжиг в высокотемпературном пламени

растворами соединений хрома и циркония с последующей термообработкой для перехода их в тугоплавкие оксиды позволяет повысить температуростойкость материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$ на 25 %.

В дальнейшей работе планируется продолжить исследования и поиск наиболее эффективных и технологичных режимов нанесения модификаторов, провести исследование прочностных, теплофизических и диэлектрических свойств получаемых материалов.

Библиографический список

1. Пат. 2210555 РФ Способ получения радиотехнического материала / Камалов А. Д., Пронин Б. Ф., Арсланова Н. И., Цыруль Н. П., Волик Н. И., Ступакова Н. П., Тазитдинова Н. В., Янковская Т. В.; заявл. 10.03.03; опубл. 20.08.03.
2. **Торопов, Н. А.** Диаграммы состояния силикатных систем : справочник. Вып. 1. Двойные системы / Н. А.

Сравнительная температуростойкость модифицированных образцов материала $\text{SiO}_2\text{—SiO}_2$

Оксид	Содержание оксида, %	Глубина кратера, мм
Хрома	0	3,2
	3	0,4
	9	1,1
Циркония	0	3,4
	5	2,0
	12	1,3

Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин [и др.]. — Л. : Наука, Ленингр. отд., 1969. — 822 с. ■

Получено 19.11.13

© В. А. Дьяконов, Е. С. Лукин, Н. В. Нефедова, Б. Ф. Пронин, Е. Н. Филатов, 2013 г.

Д. т. н. **В. В. Кузин**, д. т. н. **С. Н. Григорьев**, **В. Н. Ермолин**

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

УДК 666.3:536.49

НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КЕРАМИКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ. ЧАСТЬ 2. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ*

Приведены результаты комплексного изучения неоднородности напряжений в поверхностном слое керамики на основе диоксида циркония под действием теплового нагружения. Выявлена высокая неоднородность напряжений в структурных элементах керамики. Отмечена необходимость учета неоднородности напряжений при описании механизма износа и разрушения, а также при проектировании изделий из этой керамики для заданных условий эксплуатации.

Ключевые слова: керамика, неоднородность, напряженно-деформированное состояние, поверхностный слой, моделирование, диоксид циркония, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация теплового режима эксплуатации современных машин и повышение требований к их надежности обуславливает специальные требования к свойствам структурно-неоднородных материалов, из которых изготавливают наиболее нагруженные детали. Эти требования реализуются в основном за счет оптимизации комплекса свойств материалов, обеспечивающего их повышенную сопротивляемость деформированию и разрушению под действием тепловой нагрузки [1, 2]. Несмотря на очевидный прогресс в реализации такого подхода, вероятность внезапных разрушений высокотемпературных элементов машин остается достаточно

высокой [3], что существенно ограничивает перспективу эффективного применения новых материалов, в том числе керамических [4, 5].

В основе этой проблемы находится недостаточная изученность природы формирования термических напряжений, оказывающих существенное влияние на поведение керамических материалов под действием тепловой нагрузки. Наиболее исследованной оказалась взаимосвязь формы и размеров детали, свойств материала, теплового режима и условий теплопередачи с термическими напряжениями I рода [6, 7]. Влиянию разных факторов на термические напряжения II рода, образующиеся в структурных элементах неоднородных материалов и на их границах, уделялось не такое пристальное внимание. Объяснить этот факт можно повышенной сложностью задачи из-за необходимости:

* Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 10 за 2013 г.