

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 621.396:620.197.6

З.В. Барсова, Н.Г. Илюха

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ЗАЩИТА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Исследованы физические и механические свойства защитных материалов, с применением рентгеноструктурного анализа, оптической и электронной микроскопии. Защитные композиционные материалы синтезированы на основе оксида циркония и оксида бария методом твердофазных реакций. Показано, что полученные материалы обладают достаточными прочностными и огнеупорными характеристиками с целью применения их в качестве материалов для защиты систем управления и обработки информации от воздействия агрессивных сред, высоких температур.

Ключевые слова: защита, системы управления и обработки информации, композиционные материалы.

Введение

Постановка задачи. В последнее время особенно остро стоит вопрос об обеспечении бесперебойной работы систем управления и обработки информации, оборудования, микропроцессорных и радиоэлектронных средств и др., функционирующих в условиях агрессивных сред и высоких температур.

Невыполнение требований по обеспечению соответствующей защиты материалов, отсутствие огнеупорных корпусов или необходимых покрывающих материалов может повлечь за собой сбой в работах систем управления, неустойчивую работу систем связи, потери информации в компьютерных сетях вплоть до полного прекращения работы оборудования и возможного его повреждения, и как следствие значительный материальный ущерб.

В связи с этим появились и требуют решения новые научно-технические задачи, связанные с необходимостью разработки новых композиционных материалов обладающих физическими и механическими свойствами, которые способны обеспечить эффективную защиту микропроцессорных и радиоэлектронных средств технических систем от воздействия агрессивных сред.

Такие материалы, обладающие огнеупорными и повышенными прочностными характеристиками, могут использоваться для: создания защитных корпусов для радиоэлектронной аппаратуры; создания огнеупорного покрытия для роботов – манипуляторов; как покрывающий слой в реакторах; производства топлива, в частности твердого топлива для ракетных и воздушно-реактивных двигателей; покрытия топливных конструкций, печей; водородных печей, нефтехимических реакторов. Создание таких эффективных многофункциональных материалов, обладающих повышенными прочностными характе-

ристиками способных обеспечивать необходимый уровень защиты от воздействия повышенных температур является перспективным направлением исследований.

Анализ публикаций, относящихся к современным подходам создания эффективных материалов, способных обеспечивать необходимый уровень защиты систем от воздействия высоких температур [1 – 4], позволяет сделать вывод, что существующие материалы получают по усложненной технологии и не обладают необходимым комплексом свойств для обеспечения одновременного сочетания огнеупорности, повышенных прочностных характеристик и легкости нанесения на объект. Композиционные материалы на основе оксида циркония при нагревании, несмотря на повышенную огнеупорность, лишь незначительно снижают свои прочностные характеристики.

Таким образом, разработка перспективных композиционных материалов для эффективной защиты от воздействия повышенных температур является актуальной задачей, которая определила направленность данной статьи.

Цель статьи – показать, что синтезированные композиционные материалы на основе оксидов циркония и бария имеют достаточные физические, механические и огнеупорные свойства и могут обеспечить эффективную защиту систем управления и обработки информации от воздействия факторов агрессивной среды и высоких температур.

Изложение основного материала

Одно из перспективных решений научно-технической задачи обеспечения эффективной защиты систем управления и обработки информации от воздействия повышенных температур позволяют получить разработанные композиционные материалы на основе оксида циркония и бария, с соответст-

вующими добавками других оксидов. Оксид циркония ZrO_2 обладает аномально низкой теплопроводностью среди тугоплавких материалов.

Определены основные технологические параметры получения огнеупорных композиционных материалов на основе оксидных соединений. Тонкость

помола сырьевых смесей: размер зерен – $40 \cdot 10^{-6}$ м и менее, температура обжига – 1773-1873 К, время выдержки – 3 часа. В табл. 1 приведены результаты испытаний установки. Физические и технические свойства синтезированных композиционных материалов приведены ниже (табл. 2, рис. 1).

Таблица 1

Результаты испытаний установки [5]

Параметр	Камера сгорания	Стенка канала
Расход газа, кг/с	2 – 5	
Объемные изменения кислорода, масс. %	40	
Температура нагрева окислителя, К	1100	
Коэффициент избытка окислителя	0,85-1,05	
Температура продуктов в камере, К	2600 – 2700	2500 – 2650
Скорость газового потока, м/с	80	700
Давление (абсолютное), МПа	0,25	0,25-0,15

Таблица 2

Свойства композиционного материала в зависимости от состава [5]

Свойства	Содержание, масс. %		
	70	80	90
Диоксид циркония (ZrO_2)	70	80	90
Огнеупорность, К	2673	2473	2073
Предел прочности при сжатии при комнатной температуре, МПа	38	45	65
Предел прочности при сжатии при температуре, МПа:			
обжиг при 1600°C	40	47	56
обжиг при 1750°C	42	45	58
Линейная усадка, 1750°C, масс. %	1.1	1.7	2.0
Температура начала деформации под нагрузкой, °С, не менее	1750	1660	1560
Термостойкость при 1300°C - в условиях водяного охлаждения, не менее	16	15	11

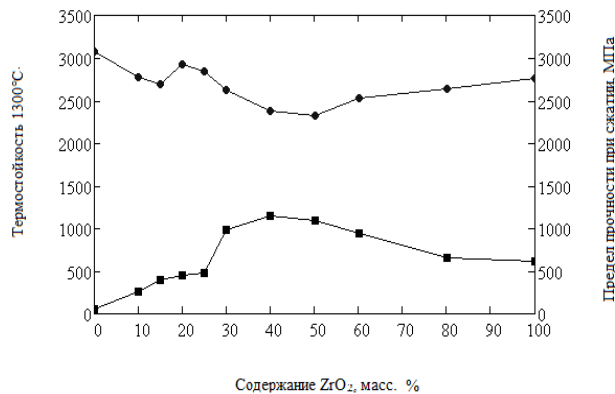


Рис. 1. Зависимость термостойкости и прочности при сжатии от содержания оксида циркония (ZrO_2) (верхняя линия – прочность, нижняя – термостойкость) [5]

Оптимальным композиционным материалом на основе оксида циркония является материал, содержащий 70 масс.% данного вещества. Оксид циркония представлял собой зерновой состав в виде нескольких фракций: 0.2-2.5 мм, 0.1-0.5 мм, меньше 0.1 мм. Для его стабилизации использовался оксид иттрия в количестве 6 – 7 масс.%. Композиционный материал получали методом полусухого прессования. Пористость материала после твердения составляла 15 – 20 масс.%. Для изделий изготовленных методом полусухого прессования из ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 , максимальное повышение термостойкости

наблюдается при содержании моноклинного ZrO_2 в обожженных изделиях в количестве 20 – 35 %. При использовании полностью стабилизированного ZrO_2 кубической модификации, за счет добавления Y_2O_3 в количестве 8 мол % (~10,4 масс %), указанное содержание моноклинного ZrO_2 в обожженных изделиях достигается путем введения такого же количества в сырьевую смесь.

Результаты гидратации композиционного материала на основе оксидов циркония и бария показали, что при температуре ниже 400 К материал не претерпевает изменений. При температуре выше 1400 К наблюдается спекание материала. При температуре до 2150 К происходит соединение частиц материала между собой и с зернами наполнителя в более высокотемпературные слои, благодаря развитию непосредственного контакта между частицами диоксида циркония. В промежуточной области между спеченными слоями структура материала определяется степенью дегидратации соответствующих добавок алюминатов бария. В области, где находится холодная часть по отношению к процессу спекания, в слое, где имеет место практически полная потеря воды, снижение прочности материала не наблюдается.

Ширина спекания слоя зависит от уровня температуры на горячей поверхности. При температуре 2200 К ширина области спекания составляет где-то 20 – 25 масс.%. В горячей части спекаемого слоя, спекаемость материала увеличивается за счет образования расплавов алюминатов бария.

На спекаемой поверхности в течении 0,5 – 1 ч наблюдается неизометрическое нагревание материала. В рамках спекаемого слоя можно выделить несколько зон. В области, соприкасающейся с горячей поверхностью, присутствует только очень малое количество (менее 1%) компонентов материала. Цирконаты бария регистрируются как отдельные включения. Содержание оксида бария по массе в спеченном слое 0,2 – 0,4 масс. %.

Структура горячего слоя композиционного материала показывает, что в процессе спекания наблюдаются основные потери компонентов материала. Потери компонентов материала в горячем слое приводят к росту пористости на 5 – 8 масс. %.

Характер структурных образований в горячем слое определяется уровнем температуры и количеством жидкой фазы на первой стадии спекания. При обжиге поверхностного слоя в горячей зоне происходит деление зерен исходного материала на более мелкие фракции. Наличие на начальной стадии следов расплавленного алюмината бария, количество которого можно увеличивать за счет его поступления из более холодных участков, способствует улучшению процесса диспергирования, перемещению продуктов диспергирования и частичному уменьшению размера фракций. Мелкие частицы фракции диоксида циркония интенсивнее декристаллизуются. В результате этого на горячей поверхности слоя композиционного материала происходит более явно выраженное разделение на мелкие и крупные фракции.

В области более холодных зон присутствие жидкой фазы на начальной стадии ниже, чем в поверхностной области. Диспергирование зерен наполнителя не сопровождается существенным перераспределением частиц по размерам.

При переходе к еще более холодным областям уменьшается размер зерен и наблюдается диспергирование наполнителя. Диспергирование крупных зерен наполнителя происходит в горячей части, ширина которой составляет примерно 60 – 65% массы от ширины зоны материала. В основных зонах в крупных зернах наполнителя наблюдается увеличение площади пористости по сравнению с исходным материалом. В более мелких зернах рост пористости связан с разделением на блоки, которые образуются преимущественно на границе с наполнителем.

Структура мелких и средних частиц диоксида циркония, количество и качество контактов между ними и большими зернами наполнителя в значительной мере определяет прочность материала в зоне пористости. В качестве наиболее вероятного размещения структурных единиц в интервалах между большими зернами, необходимо отметить структуру, в которой отсутствует первичная ориентация.

Рост концентрации пористости ведет к снижению прочности материала. Увеличение температуры в этой области ведет к появлению трещин, что может привести к разрушению поверхности в этой области.

Преобладающей фазой в зоне пористости являются кубические частицы твердого раствора. Концентрация стабилизатора Y_2O_3 в слое, который прилегает к горячей поверхности, составляет 3 – 4 масс. % после 50 ч испытаний. Тот же уровень концентрации компонента наблюдается через 200 – 250 ч после начала эксперимента. Не стабилизированный диоксид циркония отсутствует или регистрируется в количестве менее 1%. Отсутствие нестабилизированного диоксида циркония показывает, что в горячей части этой зоны перераспределение компонента Y_2O_3 между кубическими частицами твердого раствора и не стабилизированным диоксидом циркония происходит избирательно при разложении цирконата бария.

Связь между частицами диоксида циркония в зоне пористости материала осуществляется преимущественно в виде прямого контакта $ZrO_2 - ZrO_2$. Часть контактов осуществляется за счет пленок, шириной 1 микрон и менее, содержащих оксид алюминия.

Около холодной границы зоны пористости материала наблюдается увеличение содержания включений цирконата бария. В глубине содержание цирконата бария увеличивается до 20 – 25 масс. %. Цирконат бария в этой области скапливается на поверхности частиц диоксида циркония, заполняет поры, и трещины в зернах наполнителя. Частицы цирконата бария, образующиеся на границе зерен диоксида циркония, имеют размер 2 – 50 мкм и отличаются плотностью упаковки. Иногда их окружает пленка оксида алюминия. Содержание оксида алюминия в зоне синтеза цирконата бария составляет 1,5 – 1,7 масс. %. Таким образом, количество алюминатов бария – менее 1 %.

Увеличение количества цирконата бария наблюдается благодаря тому, что часть оксида бария, (находящегося в парообразном состоянии), появляющаяся при разложении цирконата бария перемещается в область более холодных зон, где конденсируется и реагирует с диоксидом циркония, с образованием вторичного цирконата бария. Также необходимо отметить появление цирконата бария в рассматриваемой зоне в случае отсутствия цирконата бария в исходном материале. Таким образом, количество синтезированного в процессе испытаний цирконата бария не превышает 3 – 4 %.

На материале в зоне, обогащенной цирконатом бария, после испытаний наблюдается появление трещин. Частицы диоксида циркония связываются как посредством прямых контактов, так и через включения цирконата бария.

В холодной части зоны синтеза цирконата бария количество включений алюминатов бария нарастает. Приповерхностный слой отличается повышенным содержанием алюминатов бария (12 – 15 масс. %) по сравнению с исходным уровнем (6 масс. %). В горячей части зоны, обогащенной цирконатом бария, алюми-

наты бария вместе с цирконатами бария образуют прослойки толщиной до 150 мкм на связанных зернах наполнителя. Частицы материала отличаются довольно плотной упаковкой. Линейный размер 3 – 15 мкм. Прямые контакты частиц диоксида циркония практически отсутствуют. В то же время в этой области обеспечивается развитие контактов частиц диоксида циркония с цирконатами и алюминатами бария. Материал подложки в рассматриваемых слоях отличается повышенной прочностью. Предположительно это возможно, за счет поступления расплавленных алюминатов бария из горячих слоев. С холодной стороны слоя, прилегающего к зоне с повышенной плотностью, содержание компонентов материала, идентично с исходным материалом. Спекание композиционного материала в этой зоне протекает довольно активно и сопровождается линейными изменениями. В результате этого интервалы между зернами наполнителя заполняются малыми частицами диоксида циркония и полу-чаются плотно упакованные частицы материала. Структура такого материала идентична структуре, полученного при спекании при 1900 – 2000 К.

Было произведено 20 запусков установки для испытания материалов в течении 50 – 400 часов. При испытаниях температура футеровки печи как правило составляла 2200 – 2400 К, в некоторых случаях удалось достичь 2600 К. Отмечается, что при температур более 2200 К определяющую роль в создании теплового режима обжига начинают играть среди прочего стены печи (плотность теплового потока).

При температуре поверхности материала более 2150 К верхние слои материала на основе циркониевых соединений хорошо конгломерируются в первые 2 – 6 часов, что обеспечивает высокую устойчивость к эрозии в течении эксперимента, менее 1 мкм/ч. Футеровка на основе оксида циркония позволяет проводить быстрый нагрев установки в течении 20 – 60 мин. Более того, такой нагрев даже предпочтительнее для композиционного материала (ускорение спекания в верхних слоях приводит к уменьшению эрозии).

Таким образом, выявлены оптимальные параметры синтеза композиционного материала на основе ок-

сида циркония и бария. Установлено, что материалы с нанесенным покрытием из цирконата бария показывают хорошие характеристики при тепловых ударах и высокие прочностные свойства, а следовательно могут быть использованы для покрытия изделий.

Выводы

Проведенные исследования физических и механических свойств разработанных композиционных материалов на основе оксидов циркония и бария позволяют заключить, что данные композиционные материалы обладают достаточными прочностными и огнеупорными свойствами и могут обеспечить эффективную защиту систем управления и обработки информации от воздействия факторов агрессивной среды.

Список литературы

1. Бикия Дж. Использование композитных материалов в оборонной промышленности и аэрокосмической индустрии/ Дж. Бикия // Вестник электроники. – 2014. – № 1 (47). – С. 24-27.
2. Разработка и исследование термостабильных покрытий, полученных золь-гель методом в системе $Y_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$, для SiC-содержащих материалов / Ю.Е. Лебедева и др. // Электронный научный журнал «ТРУДЫ ВИАМ». – 2013. – № 12. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://viam-works.ru/articles? year=2013&num=12](http://viam-works.ru/articles?year=2013&num=12).
3. Перспективные высоко-температурные керамические композиционные материалы / Е.Н. Каблов, Д.В. Граценков, Н.В. Исаева, С.С. Солнцев // Российский химический журнал. – 2010. – Т. LIV. – №1. – С. 20-24.
4. Стеклокерамический композиционный материал / Д.В. Граценков и др. // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 8. – С. 368-372.
5. Ilyoukha N. New Cements and Composite Materials Based on Them for Atomic Industry / N. Ilyoukha, V. Timofeeva, A. Chabanov // Materials Science and Technology. – 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.intechopen.com/books/>.

Поступила в редколлегию 1.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.М. Трыщ, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

ЗАХИСТ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ І ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВД ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

З.В. Барсова, М.Г. Ілюха

Досліджено фізичні та механічні властивості захисних матеріалів, із застосуванням рентгеноструктурного аналізу, оптичної та електронної мікроскопії. Захисні композиційні матеріали синтезовані на основі оксида цирконія і оксида барія методом твердо фазних реакцій. Показано, що одержані матеріали мають достатні міцності та вогнетривкі характеристики з метою застосування їх в якості матеріалів для захисту систем обробки інформації та управління від агресивного середовища, високих температур.

Ключові слова: захист, системи управління та обробки інформації, композиційні матеріали.

PROTECTION OF CONTROL AND INFORMATION PROCESSING SYSTEMS FROM AGGRESSIVE ENVIRONMENTS AND HIGH TEMPERATURES

Z.V. Barsova, N.G. Iliucha

It was investigated physical and mechanical properties of protective materials, using x-ray diffraction, optical and electron microscopy. Protective composite materials were synthesized on zirconium and barium oxides by solid state reaction. Investigated the, It was shown that synthesized materials have sufficient strength and refractory characteristics in order to apply as materials for protection of control and information processing systems from aggressive environments, high temperatures.

Keywords: protection, of control and information processing systems, composite materials.