

УДК 691.328.1

КОНСТРУКЦИОННЫЙ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЙ МЕТАЛЛОКОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСОДЕРЖАЩЕЙ МАТРИЦЫ И ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Россия (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46), e-mail: mpvbgtu@mail.ru

Рассмотрен вопрос перспективы создания современных радиационно-защитных материалов. Установлена возможность получения нового вида конструкционного радиационно-защитного композиционного материала на основе металлической алюмосодержащей матрицы и наполнителя в виде высокодисперсных оксидов тяжелых металлов. Сочетание высоких прочностных, эксплуатационных и радиационно-защитных свойств таких металлокомпозиционных материалов позволяет использовать их в качестве несущих конструкций на ядерно-энергетических объектах, а также способного обеспечить биологическую защиту от γ -излучения в широком диапазоне энергий 0,06-1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр. Отсутствие непосредственного взаимодействия между частицами наполнителя и расплавом матрицы в прохождении технологического процесса получения материала приводит к резкому ухудшению прочностных свойств и радиационно-защитных характеристик. Данные по исследованию рельефа (топографии) и свойств поверхности разработанного конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала свидетельствуют о совместимости составляющих системы и однородности распределения частиц наполнителя в расплаве алюмосодержащей матрицы.

Ключевые слова: металлокомпозиционный материал, радиационно-защитный материал, алюмосодержащая матрица, гематит, висмут, топография поверхности, эксплуатационные характеристики, коэффициент ослабления.

STRUCTURAL RADIATION PROTECTION METALLOKOMPOSITION MATERIAL BASED ON ALUMINUM-MATRIX AND FINE HEAVY METAL OXIDES

Matyukhin P.V., Bondarenko Y.M., Pavlenko V.I., Yastrebinskii R.N.

Belgorod Shukhov State Technology University, Belgorod, Russia (308012, Belgorod, street Kostukova, 46), e-mail: mpvbgtu@mail.ru

The question of the prospects of creating modern radiation-protective materials. The possibility of obtaining a new kind of structural radiation shielding composite aluminum-based metal matrix and filler in the form of fine heavy metal oxides. The combination of high strength, performance and radiation-protective properties of metallokomposition materials allows their use as load-bearing structures for nuclear power facilities, as well as the ability to provide protection against biological γ -radiation in a wide energy range 0,06-1,2 MeV with absorbed dose up to 10 MGy. The lack of direct interaction between the filler particles and the matrix in the melt passage process of obtaining material, leads to a sharp deterioration in mechanical properties and radiation-protective properties. Data for the study of the terrain (topography), and surface properties of the developed structural radiation-shielding material metallokomposition on the compatibility of the components of the system and uniform distribution of the filler particles in molten aluminum-matrix.

Key words: metallokomposition material, radiation-protective material, aluminum-matrix, hematite, bismuth oxide, surface topography, operational characteristics, extinction coefficient.

Введение

Интенсивное развитие атомной энергетики требует создания нового типа композиционных материалов, обладающих комплексом высоких технологических, эксплуатационных, физико-механических, экологических и экономических показателей.

Для радиационной защиты на сегодняшний день используют различные композиционные материалы, как облицовочные, так и материалы, несущие значительные

конструкционные нагрузки. Матрицы таких композиционных материалов могут быть представлены резиноподобными полимерами, смесями эпоксидной смолы, портландцемента и жидкого стекла, баритовыми и сернистыми бетонами с различными модификаторами и многими другими. В качестве наполнителей используют соединения свинца, железоксидные системы, марганцевые и силикомарганцевые ферросплавы, стекло, керамику и др. [3; 5].

Одним из таких перспективных материалов специального назначения (для защиты от ионизирующего излучения в атомной и радиохимической промышленности) является конструкционный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов.

Цель исследования

Провести исследование структуры и свойств поверхности, эксплуатационных характеристик разработанного конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

На основе металлической алюмосодержащей матрицы (дюралюминий), обладающей высокой теплопроводностью и свойством отражения тепловых потоков, высокодисперсных оксидов тяжелых металлов (гематит Fe_2O_3 и бисмит Bi_2O_3), обеспечивающих эффективное поглощение рентгеновского и гамма-излучения, получен конструкционный металлокомпозиционный материал для защиты от ионизирующего излучения. В качестве модификатора поверхности высокодисперсных оксидов тяжелых металлов радиационно-защитного металлокомпозиционного материала использовали хлорид алюминия $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (ГОСТ 3759-65). Оптимальное соотношение наполнителя и матрицы составляет 40 : 60, причем распределение между гематитовым наполнителем и бисмитом – 70 : 30.

Оптические исследования выполнялись на фотомикроскопе отраженного света «Полам Р-312»; топографию поверхности разработанного конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала изучали на сканирующем зондовом микроскопе Stand Alone «Smena» АСМ (класс атомно-силовых микроскопов) [4].

Образцы для физико-механических испытаний конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала изготавливали в соответствии с ОСТ 6-05-406-80.

Плотность образцов определена гидростатическим взвешиванием по ГОСТ 2409-80; разрушающее напряжение при сжатии – по ГОСТ 25.503-97; предел прочности при статическом изгибе – по ГОСТ 14019-80; модуль упругости – по ГОСТ 1497-84; ударная

вязкость – по ГОСТ 9454-78 на маятниковом копре БМК-5 при скорости движения маятника в момент удара $2,9 \pm 0,5$ м/с.; определение твердости по Бринеллю – по ГОСТ 9012-59; определение твердости по Роквеллу – по ГОСТ 9013-59; микротвердость по методу Виккерса определяли на микротвердомере ПМТ – 3 – по ГОСТ 4670-91; термостойкость – по ГОСТ 21341-75; водопоглощение – по ГОСТ 7025-91; определение стойкости к воздействию химических сред – по ГОСТ 12020-72.

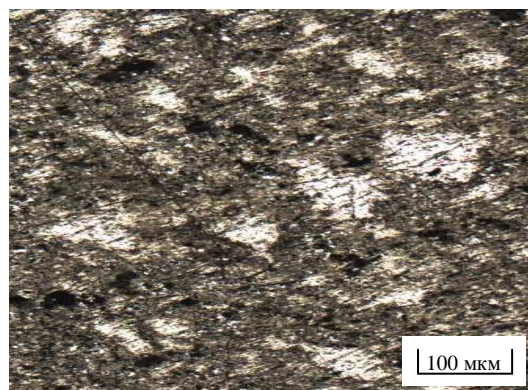
При определении радиационно-защитных характеристик разработанного материала использовали точечный γ -источник ^{241}Am , ^{60}Co , ^{137}Cs по ГОСТ 25146-82 в диапазоне энергии $E = 60-661$ кэВ [1].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1а представлена оптическая фотография внешнего вида лабораторного образца конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов.



а)



б)

Рис. 1. Оптические фотографии конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов: внешний вид лабораторного образца (а); срез лабораторного образца (б).

На рис. 1б представлена оптическая фотография среза лабораторного образца металлокомпозиционного материала. Высокая степень заполнения расплава матрицы частицами высокодисперсного наполнителя позволяет утверждать об однородности разработанного материала.

Отсутствие непосредственного взаимодействия частиц высокодисперсных оксидов тяжелых металлов и металлической матрицы в процессе прохождения технологического процесса получения материала приводит к резкому ухудшению прочностных свойств, и как следствие, уменьшает количество вводимых в алюмосодержащую матрицу гематита и бисмита, что приводит к ухудшению радиационно-защитных свойств

металлокомпозиционного материала (так как именно оксиды тяжелых металлов, в составе разработанного материала, обладают свойством поглощения γ -излучения).

Визуализация совместимости алюмосодержащей матрицы с модифицированным гематитом и модифицированным висмитом проведена зондированием поверхности конструкционного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы полуконтактным методом в режиме топографии АСМ (рис. 2а и 2б).

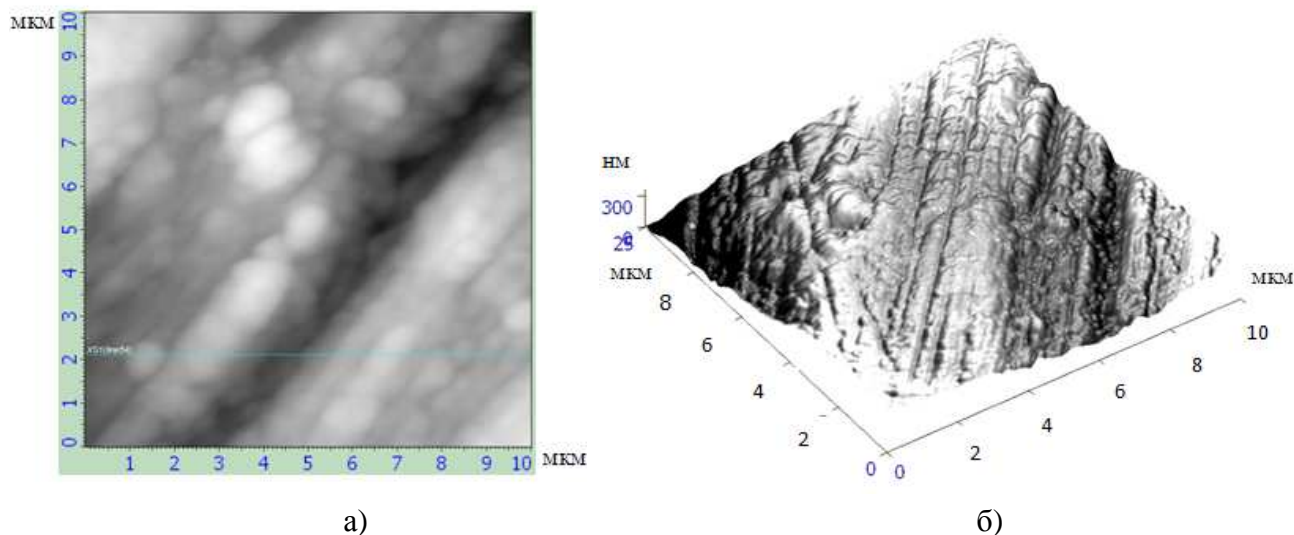


Рис. 2. Топография поверхности конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов:
а) 2 D 10x10 мкм; б) 3D 10x10x0.1 мкм.

На фотографиях поверхности композиционного материала, с ходом зонда на 1,4 мкм по оси ОУ (рис. 2а и 2б), не наблюдается ярко выраженных перепадов на границе раздела фаз «модифицированный гематит – алюмосодержащая матрица – модифицированный висмит» по всей области сканирования, что указывает на необратимое смачивание наполнителей с расплавом матрицы [1; 4].

Разработанный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал обладает основными эксплуатационными характеристиками (табл. 1).

Таблица 1 – Основные эксплуатационные характеристики конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов

№	Показатель	Значение
1	Плотность	3848 кг/м ³
2	Прочность на сжатие	750 МПа
3	Прочность при изгибе	275 МПа

4	Прочность при растяжении	210 МПа
5	Модуль упругости	$1,32 \cdot 10^6$ МПа
6	Ударная вязкость	0,45 МДж/м ²
7	Твердость по Бринеллю, НВ (10, 300,10)	240
8	Твердость по Роквеллу, HRC	96
9	Микротвердость по Виккерсу	3200 МПа
10	Термостойкость	550 °С
11	Коэффициент теплопроводности	16,0 Вт/ (м·К)
12	Водопоглощение (30 сут.)	0

Разработанный материал не подвергается коррозии; наблюдается его стойкость (без потери массы) к среднекислым, слабокислым, нейтральным, слабощелочным средам (рН 4–8). Материал легко поддается механической обработке (шлифовке, резанию и т.д.).

Радиационно-защитные характеристики по отношению к гамма-излучению определялись экспериментально в геометрии узкого пучка [1]. При исследовании защитных характеристик металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов в диапазоне энергий 0,1–1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр материал проявлял стабильные физико-механические свойства, а при дальнейшем увеличении поглощенной дозы (до 14 МГр) наблюдалось ухудшение его конструктивных свойств (рис. 3).

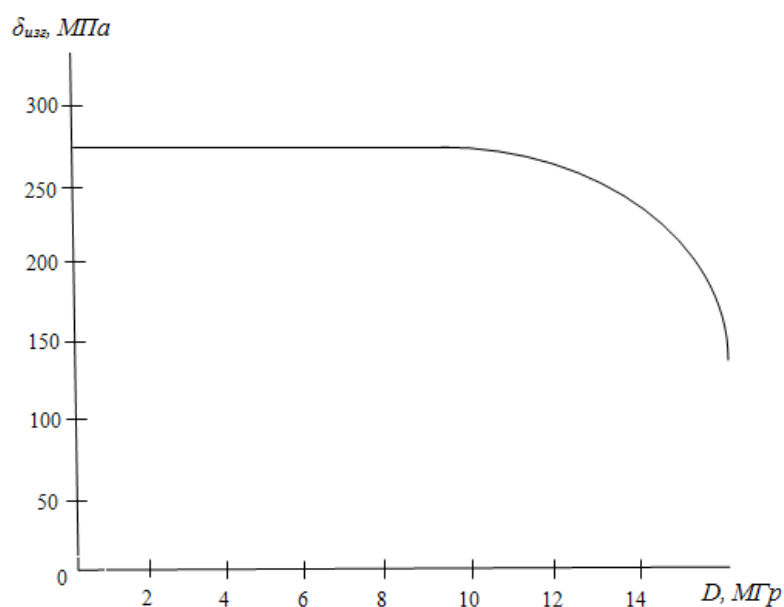


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов от поглощенной дозы при атаке его γ -квантами.

Разработанный конструкционный металлокомпозиционный материал по радиационно-защитным характеристикам на 30% уступает стали, на 80% превосходит металлический чистый алюминий и на 45% превосходит барий-серпентиновый бетон (табл. 2) [2].

Таблица 2 – Коэффициент ослабления γ -лучей

Тип материала	Прочность	Линейный коэффициент ослабления, см^{-1} , для энергий (кэВ)		
		60	661	1200
Сталь (СТ-3)	7200	8,72	0,57	0,42
Чистый алюминий	2700	0,657	0,2	0,15
Барий-серпентиновый бетон	3430	4,15	0,27	0,2
Металлокомпозиционный радиационно-защитный материал	3848	5,82	0,35	0,26

Заключение

Представленные характеристики разработанного конструкционного радиационно-защитного металлокомпозиционного материала на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов позволяют утверждать, что материал может быть использован для изготовления конструкций, работающих при температурах до 550 °С и внешней нагрузкой до 750 МПа.

Наряду с высокими эксплуатационными и техническими характеристиками данный материал является частью существующей экосистемы, поэтому он будет соответствовать современным экологическим требованиям.

Разработанный конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов может быть успешно применен в качестве конструкционного материала, способного обеспечить биологическую защиту от γ -излучения в широком диапазоне энергий 0,06-1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр.

Работа выполнена в рамках гранта № Б–19/12 от 10.04.2012, в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухов на 2012 – 2016 гг. (№ 2011 – ПР – 146).

Список литературы

1. Матюхин П.В. Исследование свойств поверхности металлокомпозиционного материала, подвергнутого воздействию высокоэнергетического излучения / П.В. Матюхин, Г.Г. Бондаренко, Ю.М. Бондаренко // Сб. докл. XXII Международной конференции «Радиационная физика твердого тела». – М. : ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2012. – С. 91-95.
2. Матюхин П.В. Композиционный материал, стойкий к воздействию высокоэнергетических излучений / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский // Вестник Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 25-27.
3. Матюхин П.В. Перспективы создания современных высококонструкционных радиационно-защитных металлокомпозиционных материалов / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Ю.М. Бондаренко // Вестник Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 27-29.
4. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Н. Новгород, 2004. – 110 с.
5. Павленко В.И. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов / В.И. Павленко, П.В. Матюхин // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 10. – С. 85-86.

Рецензенты:

Савотченко Сергей Евгеньевич, д.ф-м.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий «Белгородский институт повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов», г. Белгород.

Красильников Владимир Владимирович, д.ф-м.н., профессор кафедры материаловедения и нанотехнологий НИУ «Белгородский государственный университет», г. Белгород.