

УДК 621.357.74

С. А. Герман<sup>1,2</sup>, Д. И. Тишкевич<sup>1</sup>, А. А. Роткович<sup>1</sup>, А. А. Бондарук<sup>1</sup>,  
Е. С. Дашкевич<sup>1</sup>, Т. И. Зубарь<sup>1</sup>, А. В. Труханов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси  
по материаловедению, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ W99%(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)1% В КАЧЕСТВЕ ЭКРАНА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

**Введение.** Область применения различных микро- и наноэлектронных устройств со временем растет. Уже в настоящее время можно говорить о применении электронных приборов в авиационной, ядерной, космической промышленности и т.д. Собственно, такие устройства требуют конкретные свойства для их повсеместного применения. В связи с этим электронные устройства активно подвергаются воздействию различных ионизирующих излучений (ИИ). Для их защиты от ИИ применяются материалы с высоким атомным номером.

Наиболее распространенным материалом в области радиационной защиты является свинец. Но, поскольку свинец очень токсичный, то стоит вопрос о поиске альтернативных материалов. Определяющим параметром для материалов радиационной защиты является их плотность. Отличным показателем по этому параметру обладает вольфрам (W) – его плотность 19,25 г/см<sup>3</sup>. Однако его применение в качестве экрана радиационной защиты затруднено из-за его тугоплавкости. Однако, применение дополнительных материалов (легкоплавких эвтектик) для образования композиционной системы на основе вольфрама может решить эту проблему.

В данной работе будет рассмотрен способ получения композиционного материала W99%(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)1% и рассмотрены некоторые его свойства.

**Методика.** Для синтеза порошков W и Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> использовался метод горячего изостатического прессования. Способ изостатического горячего прессования состоит в создании высокого давления за счет растекания контейнера высокого давления, которое осуществляется, когда контейнер с образцом сжимается в устройстве из-за торможения растекания закрывающимися краями устройства. Значения высокой температуры задается с помощью пропускания тока через систему графитовых нагревателей с низким сопротивлением, что позволяет в течение небольшого времени получать высокие температуры в замкнутом объеме.

Механизм спекания заключается в одновременном воздействии температуры и давления на замкнутый объем. Расстояние между зер-

нами сокращается из-за воздействия высокого давления, вследствие чего частицы смеси порошков уплотняются. В результате площадь реакции увеличивается. В этом случае энергия активации химической реакции уменьшается. Частицы порошка соприкасаются, происходит процесс механической активации, и, как следствие, ускоряется ход химической реакции. Высокая скорость протекания реакции заключается в том, что охлаждение и нагрев образцов проводят под воздействием высокого давления, из-за чего этот метод можно назвать «экспресс методом».

Следует отметить, что выбор температур при проведении процесса горячего прессования значительно влияет на конечный результат. В целом высокие температуры спекания оказывают большое воздействие на свойства зерен порошков – возрастает их пластичность, благодаря чему возможно получение материалов со значением плотности близкому к теоретическому. Однако, при проведении этого процесса, следует учитывать свойства каждого из используемых порошков, поскольку высокие температуры могут отрицательно повлиять на механические свойства отдельных компонентов.

Полученные с помощью этого метода 6 образцов были в виде таблеток с диаметром 2,3 см. Для каждого из образцов были свои особые условия синтеза – спекание осуществлялось при одном и том же давлении 5 ГПа, однако температура для каждого из образцов отличалась. Значения плотности были получены с помощью метода Архимеда. Суть метода заключается в измерениях массы, которые происходят в два этапа: вначале на воздухе, а потом жидкости с известными точными значениями плотности (таблица 1).

**Таблица 1 - Значения плотности экспериментальных образцов от условий спекания**

№ образца	Условия синтеза	Плотность, г/см <sup>3</sup>
1	2000 °С, 5 ГПа	16,98
2	1500 °С, 5 ГПа	17,29
3	1000 °С, 5 ГПа	17,45
4	850 °С, 5 ГПа	17,36
5	500 °С, 5 ГПа	18,10
6	25 °С, 5 ГПа	17,85

Исследования морфологии и химического состава поверхности полученных материалов проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Carl Zeiss EVO10. Метод рентгеновской энергодисперсионной спектроскопии применялся для оценки химического состава синтезированных композитов с использованием приставки для СЭМ Oxford.

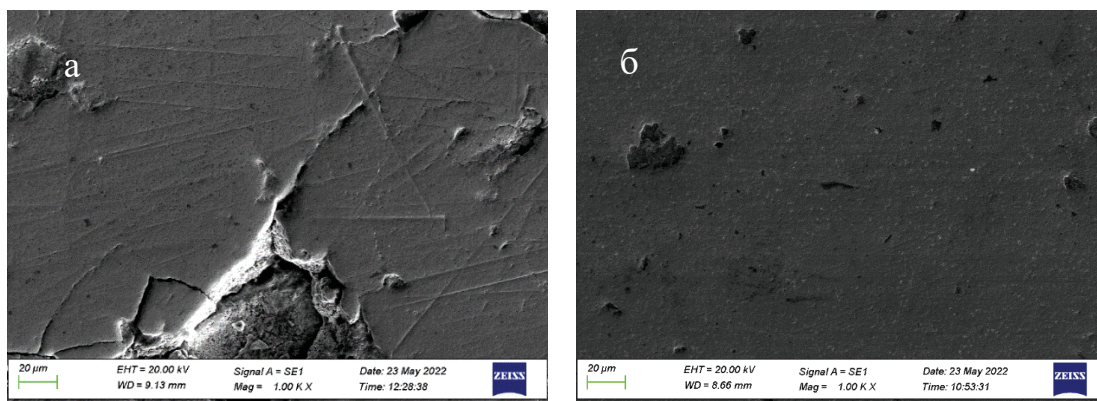


Рисунок 1 - СЭМ-снимки образцов №1 (а) и №6 (б)

Результаты определения плотностей для каждого из образцов, приведенные в таблице, показали, что наименьшее значение плотности принадлежит образцу, который был получен при наибольшей температуре. Исследование морфологии полученных составов выявило одну особенность структур образцов: с ростом температуры происходит значительная деформация образцов. На СЭМ-фотографии образца 1 отчетливо видны различные дефекты микроструктуры поверхности, в отличие от образца 6, структура поверхности которого более однородна и не обладает таким обилием дефектов (рисунок 1). Вызванные деформации связаны с окислительно-восстановительной реакцией, которая для  $W99\%(Bi_2O_3)1\%$  начинается при достижении значения температуры  $600^\circ C$  и выше.

Вследствие этого можно сделать вывод, что рассматриваемый композиционный материал получается с достаточно высокой плотностью при большой скорости синтеза. Всего за 3 минуты спекания, при соблюдении условий процесса, можно получить материал, плотность которого приблизительно равна плотности, рассчитанной теоретически, что является ключевым свойством при изготовлении экранов от ИИ. Использование данной технологии может упростить задачу по получению качественных материалов радиационной защиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов, В. И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие / В. И. Беспалов. – 5-е изд., расшир. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2017. – 695 с.

2. Tishkevich, D.I.; Zubar, T.I.; Zhaludkevich, A.L.; Razanau, I.U.; Vershinina, T.N.; Bondaruk, A.A.; Zheleznova, E.K.; Dong, M.; Hanfi, M.Y.; Sayyed, M.I.; et al. Isostatic Hot Pressed W–Cu Composites with Nanosized Grain Boundaries: Microstructure, Structure and Radiation Shielding Efficiency against Gamma Rays. *Nanomaterials* 2022, 12, 1642. <https://doi.org/10.3390/nano12101642>