

## МЕТАЛЛО-КЕРАМИЧЕСКИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, И.В. Шаманин, М.С. Петюкевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [khasanov@tpu.ru](mailto:khasanov@tpu.ru)

Цель работы - разработка технологии получения лёгкого композитного материала, обеспечивающего эффективную радиационную защиту электроники от комбинированного воздействия электронов, ионов, гамма-излучения, нейтронов. Разработан металлокерамический композит на основе сплава Al/Mg (защита от электронов, ионов) с включениями субмикронного порошка В<sub>4</sub>С (защита от нейтронов) и нанопорошка W (защита от гамма-излучения). Решена проблема гомогенной консолидации этих различных по теплофизическим свойствам порошков в 100%-плотный композитный материал. Определено оптимальное содержание каждого порошкового компонента (Al/Mg 89,2об.% + В<sub>4</sub>С 7,5об.% + W 3,3об.%), обеспечивающее беспористую упаковку частиц всех компонентов в матрице сплава. Оптимизация проведена методом моделирования дискретных элементов (S3D PorouStructure, алгоритм Ичикавы) и экспериментальной верификацией после спекания композита. Применены порошки сплава АМг6 («РедМетСплав»), В<sub>4</sub>С ("ОКБ-бор"), нанопорошок W, полученный методом электровзрыва проводников в Томском политехническом университете. Методом искрового плазменного спекания (490°C, 39 МПа, 10 мин) получен 100%-плотный композит (3,14 г/см<sup>3</sup>), имевший модуль Юнга 98620 Н/мм<sup>2</sup>; ползучесть при нагрузке 1,45; долю упругой деформации при наноиндентировании 22,4; микротвердость HV<sub>200</sub> 420 [1, 2]. Прессованием сухого композитного порошка при комнатной температуре (800 МПа) под ультразвуковым воздействием были получены прессовки плотностью 95,1% без спекания, тогда как известный способ горячей экструзии для этого композита обеспечивает только 95% относительной плотности. Для оптимизации режимов консолидации применен метод построения кривых уплотнения с циклами нагружения-разгрузки [3].

Радиационные испытания проводились на исследовательском ядерном реакторе ТПУ ИРТ-Т. Для композита, по сравнению со стандартным сплавом АМг6, коэффициенты затухания тепловых и надтепловых нейтронов оказались в 2,2 раза больше, а для  $\gamma$ -излучения – в 1,34 раза больше.

Работа выполнена по теме Госзадания «Наука» 5.0017.ГЗБ.2020 (FSWW-2020-0014).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dvilis E. S., Khasanov O. L., Gulbin V. N., Petyukevich M. S., Khasanov A. O., Olevsky E. A. Spark plasma sintering of aluminum-magnesium-matrix composites with boron carbide and tungsten nano-powder inclusions: modeling and experimentation // JOM. – 2016. - V.68. - №3. – P. 908 – 919.
2. Пат. 2616315 РФ. МПК8 C22C 1/05. Способ получения алюмоматричного композитного материала / Э.С. Двилис, О.С. Толкачев, М.С. Петюкевич, О.Л. Хасанов. Заявлено 07.12.2015; Опубл. 14.04.2017, Бюл. №11. – 7 с.
3. Khasanov O. L., Dvilis E. S. Net-shaping nanopowders with powerful ultrasonic action and methods of the density distribution control // Advances in Applied Ceramics. – 2008. - V. 107. - №3. - P. 135-141.