

Таблица 2. Собственные частоты

$f_c = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{2d_u}{D+d} \right) \cos q \right] \Omega$	частота вибрации, вызванная неуравновешенностью сепаратора шарикоподшипника
$f_e = 0,5 \left[ 1 + \left( \frac{2d_u}{D+d} \right) \cos q \right] z \Omega$	частота вибрации, вызванная дефектом внутреннего кольца шарикоподшипника
$f_n = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{2d_u}{D+d} \right) \cos q \right] z \Omega$	частота вибрации, вызванная дефектом наружного кольца шарикоподшипника
$f_{mk} = \left( \frac{d+D}{4d_u} \right) \left( 1 - \frac{4d_u^2}{(d+D)^2} \cos^2 q \right) \Omega$	частота вибрации, вызванная дефектом тела качения шарикоподшипника
где $\Omega$ – угловая скорость вращения; $D$ – диаметр наружного кольца шарикоподшипника; $d$ – диаметр внутреннего кольца шарикоподшипника; $z$ – количество тел качения (шариков); $d_u$ – диаметр тела качения (шарика); $q$ – угол контакта тел качения.	

Для экспериментального определения вибрационного разряда подшипников и их собственных частот используется современное стендовое оборудование, работа на котором организована по методикам входного контроля элементной базы.

Применение представленных методов определения и анализа вибрации конструкции блока электроклапанов позволяет создать конструкцию, удовлетворяющую предъявляемым требованиям, на этапе разработки и отработки опытного образца.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытое акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс». – (Электронный ресурс: <http://polus.tomsknet.ru>). Дата обращения: 04.04.2017.
2. Абдулов А.А., Маркитантов Б.С. Определение информативных частот при вибродиагностике подшипниковых узлов. – Л.: Судоремонт флота рыбной промышленности, 1985. – № 59. – С. 35–37.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЗ-КОМПАКТИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПЛОТНОСТИ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КЛА**

Досеке У.А.<sup>1</sup>, Петюкевич М.С.<sup>1</sup>, Двилис Э.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Хасанов О.Л., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: dosekeev.ulantai@mail.ru

**INVESTIGATION OF ULTRASOUND COMPACTING INFLUENCE ON THE STRUCTURES AND DENSITY FORMATION OF HIGH-FILLED ALUMINUM COMPOSITE MATERIAL FOR RADIATION PROTECTION OF ON-BOARD ELECTRONICS OF AIRCRAFT**

Doseke U.A.<sup>1</sup>, Petyukevich M.S.<sup>1</sup>, Dvilis E.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Khasanov O.L.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: dosekeev.ulantai@mail.ru

*Проведено исследование микроструктуры и фазового состава порошковых смесей AMg6-B4C-W с различным процентным содержанием наполнителей. Проведено компактирование порошковых смесей с ультразвуком и без него, проведено исследование плотностей и микроструктуры полученных образцов.*

*The microstructure and the phase composition of the AMg6-B4C-W powder mixtures with a different percentage of fillers were studied. Compaction of powder mixtures with and without ultrasound was carried out, and the densities of the obtained samples were studied.*

Информационная жизнь общества во многом зависит от эффективной работы различного вида космических систем: это и прогноз погоды, и разведка полезных ископаемых, и мониторинг окружающей среды, и развитие телекоммуникаций и телевидения, и обеспечение обороноспособности. Основной проблемой обеспечения надежности телекоммуникационных космических аппаратов заключается в необходимости защиты бортовой электроники космических аппаратов (КА) от воздействия ионизирующих излучений на орбите. Первые КА функционировали всего в течение года. В настоящее время стоит задача обеспечения сроков активного существования бортовой электроники КА в течение 10–15 лет. Существует необходимость улучшения качества и эффективности действия материалов защиты от ионизирующих излучений [1]. Для решения указанной проблемы необходимо обеспечить существенное снижение массогабаритных характеристик радиационно-защитных изделий, что может быть достигнуто путем использования радиационно-защитных композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы, обладая удовлетворительными механическими свойствами, при эксплуатации в режиме повышенного радиационного излучения подвержены разбуханию и структурным изменениям, которые могут быть предотвращены путём использования металлов, модифицированных керамическими наполнителями со специфическими ядерно-физическими свойствами. В результатах исследований [2] установлено, что использование наноразмерных частиц радиационно-поглощающих керамических и металлических материалов (BN, B<sub>4</sub>C, Pb и W) приводит к увеличению коэффициента поглощения нейтронов в 1,5 раза и коэффициента рассеяния гамма-излучения на 30–40 %. Применение порошков радиационно-поглощающих керамических материалов в качестве дисперсных наполнителей радиационно-защитных композитов с металлической матрицей обусловлено низкой адгезией металла и керамики.

**Целью настоящей работы** являлось создание высокоплотного алюмоматричного композиционного материала с добавлением наноразмерного порошка вольфрама и ультрадисперсного порошка карбида бора для обеспечения защиты от ионизирующих излучений без использования спекания.

**Материал и методика исследований.** Материалами исследования являются композиционные материалы AMg<sub>6</sub>-B<sub>4</sub>C-W с различным содержанием наполнителей. Для изготовления радиационно-защитного композита были выбраны порошок алюминиевого сплава AMg<sub>6</sub> в качестве несущего механическую нагрузку материала матрицы, ультрадисперсный порошок карбида бора в качестве нейтронозащитного наполнителя и нанопорошок вольфрама в качестве дисперсного наполнителя для поглощения гамма и рентгеновского излучения. Сухое смешивание порошковых компонентов AMg<sub>6</sub>-B<sub>4</sub>C-Wc выбранным массовым содержаниями 65-15-20 мас. % (Состав 1) и 74-6-20 мас. % (Состав 2) соответственно проводили в шаровой мельнице с остальными мелющими телами в течение 5 часов. Массовое содержание компонентов состава 1 было выбрано произвольным образом, массовое содержание компонентов состава 2 было выявлено методом моделирования [3]. Полученные композитные смеси порошков подвергали консолидации методом одностороннего одноосного прессования в закрытых жёстких пресс-формах с приложением ультразвука и без него. Исследование морфологии, фазового и элементного состава композита осуществляли, используя аналитическое оборудование Нано-центра Томского политехнического университета: сканирующий электронный микроскоп JEOLSEM-750FA, рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000, лазерный анализатор размера частиц Shimadzu SALD-7101, БЭТ-анализатор МЕТА СОРБИ-М.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Был проведен комплексный анализ порошковых компонентов смеси. Порошок алюминиевого сплава АМгб состоит из частиц формой, близкой к сферической, с широким (до 2 порядков величины) разбросом по их размерам. Сопоставление с результатами БЭТ-анализа указывает на слабую степень агломерации порошка.

Порошок карбида бора имеет близкую к равноосной форму частиц с широким (до 2 порядков величины) разбросом по размеру. Анализы методами РФА и EDS посторонних примесей в порошке не обнаружили; результаты БЭТ показали среднюю степень агломерации ультрадисперсной фракции порошка.

Нанопорошок вольфрама имеют сферическую форму и широкое (2,5 порядка величины) мультимодальное распределение по размерам. Примесей не обнаружено. Сопоставление с результатами БЭТ-анализа указывает на существенную степень агломерации частиц порошка. После проведения смешивания также были проведены исследования смесей, которые показали, что в ходе смешивания механоактивации смеси не произошло и новые фазы не образуются. Далее было проведено прессование смесей и измерена плотность полученных прессовок.

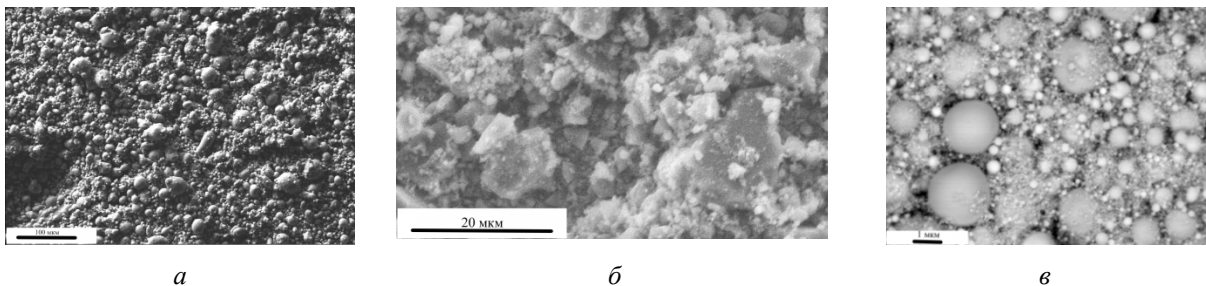


Рис. 1. СЭМ изображения порошков: а) порошок алюминиевого сплава АМгб б) порошок карбида бора в) нанопорошок вольфрама

Для получения образцов композитных материалов использовали метод одноосного прессования в закрытых жестких пресс формах с приложением ультразвука и без него. В качестве перспективных режимов, дающий высокую плотности образцов, были выбраны давления прессования 95 МПа, частота ультразвука 24 кГц. Внутренний диаметр пресс-формы составлял 14 мм.

Таблица 1. Плотности полученных образцов

№ смеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Относительная плотность, %	Относительная плотность с УЗ, %
1	3,125	85,84	86,22
2	3,136	91,61	93,63

Плотность композитов, полученных с приложением ультразвуковых колебаний достигает 93,6 %, что значительно превышает плотность образцов полученных при обычном прессовании. В табл. 1 представлены значения плотности полученных образцов. По изображениям, полученным на электронном микроскопе (рис. 2), можно сделать вывод о том, что в результате ультразвукового компактирования происходит более плотное прилегание частиц материала друг к другу, что по-видимому и способствует увеличению относительной плотности образцов.

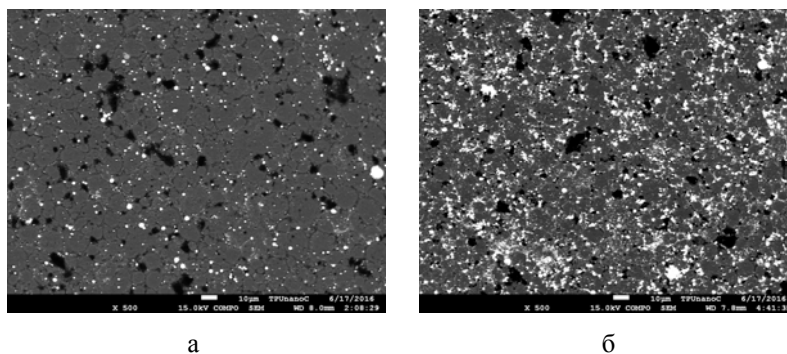


Рис. 2. СЭМ-изображение структуры композита  $AMg6-B_4C-W$ : а) без УЗ воздействия б) с УЗ воздействия

Проведённые исследования морфологических и структурных характеристик композитного материала на основе полидисперсных смесей порошков алюминиевой матрицы, вольфрама и карбида бора, а также процессов их консолидации в объёмные образцы, позволяют сделать выводы о том, что применение ультразвуковых колебаний при прессовании способствует повышению относительной плотности. Таким образом, был выявлен режим компактирования, который позволит оптимизировать затраты на достижение максимальной плотности и минимизировать массогабаритные характеристики изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие / В.И. Беспалов. – 2-е изд., расш. и перераб. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 382–401.
2. Гульбин В.Н., Петрунин В.Ф. Исследование радиационнозащитных нанокомпозитов. Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем. Материалы VIII Всероссийской конференции. – М.: Белгород, 2008.
3. 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 The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2016.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ КАРТИНЫ ПОЛЯ БЕТАТРОНА

Затонов И.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Штейн М.М., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

#### INVESTIGATION OF THE BETATRON'S HEAT PATTERN FIELD

Zatonov I.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Shtein M.M.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

*Данная работа посвящена возможности использования программ для численного моделирования теплового поля бетатрона. Приведены свойства материалов составных частей бетатрона для проведения расчета теплового поля. Рассмотрен тридцатиминутный этап нагрева электромагнита и обмоток излучателя бетатрона. Определены наиболее перегретые участки конструкции излучателя бетатрона.*