

**ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА ГАФНИЯ,  
ПОЛУЧЕННОГО ПРЕССОВАНИЕМ СМЕСИ С МИКРОПОРОШКОМ  
АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОДОГРЕВА**

С.А. Белякович, А. В. Мостовщиков, Ю.А. Мировой

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: sab41@tpu.ru

**CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL BASED ON HAFNIUM DIBORIDE  
OBTAINED BY COMPRESSING A MIXTURE WITH ALUMINUM  
MICROPOWDER UNDER HEATING**

S.A. Belyakovich, A.V. Mostovshchikov, Y.A. Mirovoy

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** In this article, samples of a hafnium diboride alloy with aluminum obtained by diffusion sintering, as well as by hot pressing with and without preliminary liquid-phase sintering, have been investigated. Systems based on unirradiated aluminum and microwave-activated aluminum are considered. It was found that samples based on microwave-activated aluminum had better mechanical properties.*

Целью работы являлось получение металлокерамического материала на основе диборида гафния и порошков алюминия. Выбор материалов обоснован высокой поглощающей способностью диборида гафния. В совокупности с этим, диборид гафния является тугоплавким и хрупким материалом, что предполагает исследование его свойств в сплаве с алюминием. В работе использованы смеси с идентичными составами на основе неактивированного и СВЧ-активированного микропорошков алюминия [1, 2]

На первой стадии получения материала, на основе диборида гафния ( $\text{HfB}_2$ ) в матрице микропорошка алюминия АСД-6М спекание проводили при температуре ниже температуры плавления алюминия (450–550 °С) в течение 4 часов в условиях ограниченного доступа воздуха. В таблице 1 приведены составы смесей порошков, спеченных в условиях твердофазного диффузионного спекания. Смеси с идентичными составами были использованы для получения образцов на основе СВЧ-активированного микропорошка алюминия.

*Таблица 1 – Состав исходных смесей порошков  $\text{HfB}_2$  и Al*

№ п/п	Содержание $\text{HfB}_2$ , мас. %	Содержание Al, мас. %	Содержание добавки, мас. %	Масса смеси, г.
1	90	10	0	5,5
2	50	50	0	10
3	10	90	0	9,5
4	50	20	30	8

Полученные образцы имели недостаточную прочность: образцы материала не сохранили свою форму, плотность образцов снизилась, наиболее вероятно протекание окислительных процессов. Активирование микропорошка алюминия путем облучения кратковолновым СВЧ-облучением (9,94 ГГц) улучшило характеристики образцов материала, снизило пористость структуры, но необходимая твердость не была достигнута.

Вторая часть работы состояла из этапа получения материала методом горячего прессования (ГП) в атмосфере аргона без предварительного спекания, а также ГП в атмосфере аргона с предварительным подогревом смеси  $\text{HfB}_2$  и микропорошка алюминия до 700 °С в условиях образования жидкой фазы алюминия. ГП выполнено со следующим температурным режимом: нагрев линейно осуществлялся в течение 15 минут; выдержка в течение 20 минут при температуре ~ 850 °С; охлаждение в течение

15 минут до температуры 400 °С; естественное охлаждение в течение 15 минут в рабочей камере. Параллельно выполнен режим прессования. Спеченные образцы имели цилиндрическую форму с диаметром  $1,5 \pm 0,02$  мм. Аналогично первому этапу работу были использованы смеси с одинаковыми составами на основе неактивированного и активированного микропорошка алюминия АСД-6М. Компонентный состав навесок смесей порошков для ГП с предварительным жидкофазным спеканием приведены в таблице 2.

*Таблица 2 – Состав смеси порошков HfB<sub>2</sub> и Al для горячего прессования с предварительным спеканием*

№ п/п	HfB <sub>2</sub> содержание, мас. %	Al АСД-6М содержание, мас. %	Al нанопорошок содержание, мас. %	Масса смеси, г.
1	90	10	–	20
2	80	20	–	20
3	90	–	10	20
4	80	–	20	20

Компонентный состав навесок смесей порошков для ГП с предварительным жидкофазным спеканием приведены в таблице 3.

*Таблица 3 – Состав смеси порошков HfB<sub>2</sub> и Al для горячего прессования без предварительного спекания*

№ п/п	HfB <sub>2</sub> содержание, мас. %	Al АСД-6М содержание, мас. %	Al нанопорошок содержание, мас. %	Масса смеси, г.
5	90	10	–	20
6	90	–	10	20

Была проанализирована плотность полученных образцов, а также измерена их твердость с использованием метода индентирования. В совокупности полученных данных, сделан вывод о том, что СВЧ-активирование порошка алюминия позволяет повысить механические свойства материала. Метод горячего прессования с предварительным жидкофазным спеканием позволил получить образцы с наиболее подходящими механическими характеристиками.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-03-00160.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Чумерин П.Ю. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия // Письма в Журнал Технической Физики. – 2016. – Т. 42. – № 7. – С. 17–22.
2. Ильин А.П., Роот Л.О. Мостовщиков. А.В. Повышение запасенной энергии в нанопорошках металлов // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – № 8. – С. 140–142.

#### **МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНА АК12 УДП ВОЛЬФРАМА**

Н.В. Мартюшев, В.С. Башев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: martjushev@tpu.ru

#### **EFFECT OF SILUMIN MODIFICATION WITH ULTRADISPERSED TUNGSTEN POWDER**

N.V. Martyshev, V.S. Bashev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *In this paper, the effect of introducing the ultradispersed W powder, which had been preliminary activated and wetted with Cu powder in planetary ball mill, in the amount of*