

**СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СВС-ЛИГАТУР**

А.Е. Матвеев<sup>1</sup>, И.А. Жуков<sup>1</sup>, В.В. Промахов<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: к.т.н. И.А. Жуков

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

<sup>2</sup>Институт проблем химических и энергетических технологий СО РАН,

Россия, Алтайский край, Бийск, Социалистическая, 1, 659322

E-mail: [cool.mr.c@mail.ru](mailto:cool.mr.c@mail.ru)

**PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS OBTAINED WITH USING SHS-LIGATURES**

A.E. Matveyev<sup>1</sup>, I.A. Zhukov<sup>1</sup>, V.V. Promakhov<sup>1,2</sup>

Scientific adviser: Ph.D. IA Zhukov

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 36, 634050

<sup>2</sup>Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies SB RAS,

Russia, Altai Territory, Biysk, Socialist, 1, 659322

E-mail: [cool.mr.c@mail.ru](mailto:cool.mr.c@mail.ru)

**Abstract.** *In the paper studied the structural-phase state of the Al-Ti-B4C powder composite materials obtained via SHS process. The resulting composite materials were used as master alloy technically pure aluminium. The introduction of 0.1 wt. % of the TiB<sub>2</sub> particles into aluminum melt led to reduce the grain of the metal from 1200 μm to 410 μm.*

**Введение.** Развитие транспортной промышленности, а также переход экономики на рациональное использование энергоресурсов обуславливают потребность в материалах с повышенными физико-механическими характеристиками способных обеспечить минимальные показатели веса изделий. Перспективными материалами в этой области являются алюминиевые сплавы и композиты на их основе. Увеличение прочностных свойств/механических характеристик алюминиевых сплавов достигается в основном за счет создания мелкозернистой структуры отливок. Известно, что наиболее эффективным способом модифицирования структуры является введение в расплав керамических частиц, таких как: TiB<sub>2</sub>, TiC, SiC и др. [1]. При этом чем меньше дисперсность вводимых частиц тем выше эффект модифицирования [2]. Прямое введение таких компонентов затруднительный процесс, что связано с плохой смачиваемостью частиц их агломерацией и флотацией. Проблема может быть решена введением в расплав предварительно подготовленных композиционных материалов состоящих из металлической матрицы и равномерно распределенных в ней керамических соединений. При введении таких композитов в расплав происходит плавление металлической матрицы, которая смачивает частицы и способствует их введению и распределению. Одним из способов получения таких композитов является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [3, 4]. Целью работы является изучение закономерностей формирования структуры и фазового состава материалов, получаемых в

режиме СВ-синтеза из порошковой системы Al-Ti-B<sub>4</sub>C, а также исследование влияния полученных материалов на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

**Материалы и методика.** В качестве исходных компонентов для синтеза СВС-материалов использовались: порошок титана марки ПТМ-1 с размером частиц 100 мкм, порошок алюминия марки АСД-0 средний размер частиц которого составлял 80 мкм и порошок карбида бора марки МЗ (средний размер частиц 8 мкм). Процесс подготовки шихты, а также синтез материалов проводился по следующей схеме: порошки титана и карбида бора смешивались в стехиометрическом соотношении Ti 72 масс. % +28 масс. % B<sub>4</sub>C. К полученной смеси добавлялся порошок алюминия в количестве 40 масс. %. Далее все компоненты тщательно перемешивались. СВС процесс состоял из следующих этапов. Установка порошковой системы Al-Ti-B<sub>4</sub>C в СВС-реактор объёмом 3 литра, вакуумирование, закачка аргона до давления ~ 15 атм. и локальное инициирование горения с помощью нагрева нихромовой спирали, контактирующей с поверхностью образца. В качестве исходного алюминиевого сплава использовался технически чистый алюминий А0. Введение полученных СВС-материалов (лигатуры) в алюминиевый расплав осуществлялось при температуре 750 °С с использованием механического смесителя. После введения лигатуры в течении 30 секунд осуществлялось перемешивание расплава с последующей разливкой в стальной кокиль. Количество вводимых частиц TiB<sub>2</sub> в алюминий составляло 0,1 мас. %.

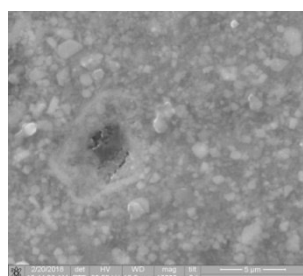
**Результаты.** Согласно данным рентгенофазового анализа (таблица 1) полученные СВС-материалы содержат три основные фазы: TiB<sub>2</sub>, TiC и Al.

Таблица 1

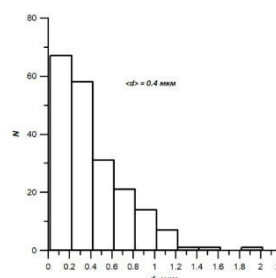
Результаты рентгенофазового анализа СВС-материалов, полученных из порошковых смесей (Ti 72 % масс.+28 % масс. B<sub>4</sub>C) + 40 % масс Al

Обнаруженные фазы	Содержание фаз, масс. %	Параметры решетки, Å	Размер ОКР, нм	Δd/d*10 <sup>-3</sup>
TiB <sub>2</sub>	42	a = 3.0238 c = 3.2208	41	1.7
Al	36	a = 4.0472	46	0.5
TiC	22	a = 4.3184	64	0.4

На рисунке 1 представлены РЭМ-изображение микроструктуры полученного СВС-материала из порошковой системы Al-Ti-B<sub>4</sub>C, а также гистограмма распределения частиц-включений, содержащихся в материале, по размерам.



а)



б)

Рис.1. а) РЭМ-изображение микроструктуры полученного СВС-материала;

б) гистограмма распределения частиц по размерам

Согласно данным элементного анализа и данным РФА установлено, что СВС-материалы состоят из металлической матрицы Al и распределенных в ней обособленных керамических частиц  $TiB_2/TiC$ . При этом размер частиц-включений варьируется от 0.05 мкм до 2 мкм, средний размер составил 0.4 мкм.

Исследования структуры полученных образцов алюминия (рисунок 2) показали, что размер зерна исходного алюминия составил  $\sim 1200$  мкм, а при введении 0.1 масс.% частиц  $TiB_2$  средний размер зерна полученного сплава составил  $\sim 410$  мкм.



а)

б)

*Рис. 2. Структура полученных алюминиевых слитков:*

*а) без введенных частиц, б) введение 1 масс. %  $TiB_2-TiC$*

**Закключение.** Обнаружено, что фазовый состав материалов получаемых в режиме СВС из порошковой смеси Al-Ti- $B_4C$  представлен алюминием, диборидом титана и карбидом титана. Установлено, что введение 0,2 масс. % СВС-материала, полученного из порошковой смеси Al-Ti- $B_4C$ , в расплав алюминия марки А0 позволяет уменьшить средний размер зерна получаемых слитков с 1200 мкм до 410 мкм.

Матвеев А.Е. и Жуков И.А. выражают благодарность за финансирование экспериментальных исследований модифицированных сплавов в рамках гранта Президента МК-837.2017.8 договор № 14.Y30.17.837. Промахов В.В. признателен за финансовую поддержку РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60028 мол\_а\_дк в части исследований СВС-процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворожцов С.А., Хрусталёв А.П., Эскин Д.Г., Кульков С.Н., Alba-Waena N. // Изв. вузов. Физика. – 2015. – Т. 57. – № 11. – С. 31-36
2. Vorozhtsov, S., Zhukov, I., Vorozhtsov, A., Zhukov, A., Eskin, D., & Kvetinskaya, A. (2015). Synthesis of micro-and nanoparticles of metal oxides and their application for reinforcement of Al-based alloys. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015.
3. Мержанов А.Г. / Черноголовка: ИСМАН. – 1999. – 512 с.
4. Жуков И. А. Структура, фазовый состав СВС-материалов свойства алюминиевых сплавов / В.В. Промахов, А.Е. Матвеев, В.В. Платов, А.П. Хрусталев, Я.А. Дубкова, С.А.Ворожцов // Известия высших учебных заведений. Физика № 1. 2017. С.