

**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СВС-ЛИГАТУР СИСТЕМЫ Al-Ti-B И ИХ ВЛИЯНИЕ НА  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

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

**PHASE COMPOSITION OF SHS-LIGATURES OF Al-Ti-B SYSTEM AND THEIR IMPACT ON  
MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS**

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

Scientific Supervisor: Ph.D. I.A. Zhukov

<sup>1</sup>Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

<sup>2</sup>Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies SB RAS, Russia, Altai region,

Biysk, Socialisticheskaya str., 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 Ti-B-Al powder composite materials obtained via SHS process. The resulting composite materials were used as master alloy for wrought aluminum alloy 6082. The introduction of 1 wt.% of the titanium diboride particles into aluminum melt leads to increase the strength of the alloy in the cast state from 100 MPa to 160 MPa and accompanied with increasing of elongation.*

**Введение.** С развитием автомобильной и авиакосмической промышленности возрастает интерес к алюминиевым материалам повышенной прочности.. Добиться таких параметров можно контролируя химический состав и размер зерна в алюминиевом сплаве за счет введения в него нано-, микроразмерных частиц тугоплавких соединений. [1, 2] Однако непосредственное введение частиц и равномерное распределение их по расплаву невозможно, так как присутствует эффект агломерации этих частиц. Решить данную проблему возможно используя предварительно подготовленные лигатуры. В данном случае большое значение имеет способ синтеза лигатуры, обеспечивающий оптимальное содержание упрочняющих частиц, их морфологию и фазовый состав [1, 3]. Одним из таких методов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), с использованием которого возможно получение различных соединений (бориды карбиды, нитриды и т.п). Данный метод отличается от остальных своей простотой, скоростями синтеза и минимальными затратами энергии. [3] Таким образом, цель работы – изучение влияния структуры и свойств СВС-материалов на основе системы Al-Ti-B на механические свойства алюминиевых сплавов.

**Материалы и методы исследования.** В качестве исходных компонентов порошковой шихты для получения композитов использовались порошки Ti марки ПТОМ-1, Al марки АСД-0 и В марки Б-99. Порошковая смесь готовилась следующим образом: 1) смешивание порошка титана и бора в

стехиометрическом соотношении (69 % Ti+31 % B) 2) добавка к полученной смеси порошка порошок алюминия от 10 масс. % до 55 масс. %. Из полученной порошковой смеси изготавливались прессовки диаметром 23 мм и высотой 25 мм, прессование осуществлялось в стальной пресс-форме, усилие прессования составляло ~ 1,5 т. Синтез образцов производился в СВС-реакторе объем 3 л. Полученные продукты реакции исследовались с использованием растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. Введение СВС-материалов в расплав алюминия осуществлялось с использованием механического смесителя. В качестве матричного сплава использовался алюминий 6082.

**Результаты.** Установлено, что в структуре полученных СВС-материалов наблюдались зерна диборида титана ( $TiB_2$ ) формой близкой к сферической. Согласно данным элементного анализа, частицы диборида титана разделены интерметаллидной матрицей типа Ti-Al. При этом, с использованием рентгенофазового анализа обнаружено, что независимо от содержания алюминия в исходной шихте Ti-B-Al, фазовый состав продуктов реакции практически не изменялся (таблица 1). Кроме того, выявлено, что увеличение содержания алюминия от 10 до 60 масс % в шихте приводит к уменьшению среднего размера зерна диборида титана в получаемых композитах от 3,7 мкм до 0,7 мкм. По-видимому, такая закономерность обусловлена термодинамической природой реакций. Литературные данные свидетельствуют о том, что при изменении стехиометрии в системе Ti-B можно контролировать фазовый состав конечных продуктов реакции и получать интерметаллидную матрицу из фаз  $Al_3Ti$ ,  $Ti_3Al$  и др. [4]. Это может быть весьма актуальным направлением при контролируемом синтезе композитов и лигатур. В случае использования полученных материалов в качестве лигатур, наличие фазы  $AlTi$  является положительным фактором, поскольку литературные данные свидетельствуют о том, что лигатуры  $AlTi$  используются, как отдельный класс лигатур в цветной металлургии [3].

Таблица 1

Результаты рентгенофазового анализа СВС-материалов, полученных из различных порошковых смесей  
Al-Ti-B

Состав исходной порошковой шихты	Фазовый состав	Содержание фаз, %	Параметры решетки, Å	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
90 % (Ti + 2B) + 10 % Al	TiB <sub>2</sub>	71	a = 3,0335 c = 3,2313	91	0,8
	TiAl	29	a = 4,0564 c = 4,0563	88	0,7
80 % (Ti + 2B) + 20 % Al	TiB <sub>2</sub>	78	a = 3,0327 c = 3,2319	99	1,1
	TiAl	22	a = 4,0541 c = 4,0543	72	0,9
70 % (Ti + 2B) + 30 % Al	TiB <sub>2</sub>	85	a = 3,0324 c = 3,2327	130	0,5
	TiAl	15	a = 4,0555 c = 4,0612	78	0,7
60 % (Ti + 2B) + 40 % Al	TiB <sub>2</sub>	66	a = 3,0338 c = 3,2320	123	0,1
	TiAl	40	a = 4,0536 c = 4,0511	101	0,3
50 % (Ti + 2B) + 50 % Al	TiB <sub>2</sub>	63	a = 3,0312 c = 3,2309	129	0,2
	TiAl	37	a = 4,0524 c = 4,0572	108	0,2

Полученные СВС-материалы из порошковой шихты 50 % (Ti+2B) + 50 % Al были использованы в качестве лигатуры для алюминиевого сплава 6082. Методика эксперимента соответствовала методике, приведенной в работе [3]. Испытание сплавов на растяжении производилось в литом состоянии. Количество вводимых частиц TiB<sub>2</sub> составляло 0,05 % и 1 %. На рисунке 1 представлены кривые растяжения полученных сплавов. Обнаружено, что при введении частиц диборида титана в сплав алюминия происходит увеличение пластичности по сравнению с исходным сплавом, при этом предел прочности при растяжении для сплавов, содержащих 1 масс. % частиц диборида титана составил ~160 МПа, в то время как у исходного сплава предел прочности при растяжении составлял ~100 МПа. Данный факт объясняется следующим. При кристаллизации жидкого металла частицы диборида титана являются центрами зародышеобразования, что приводит к измельчению зерна сплава более чем в 2 раза по сравнению с исходным (без частиц) сплавом. [3].

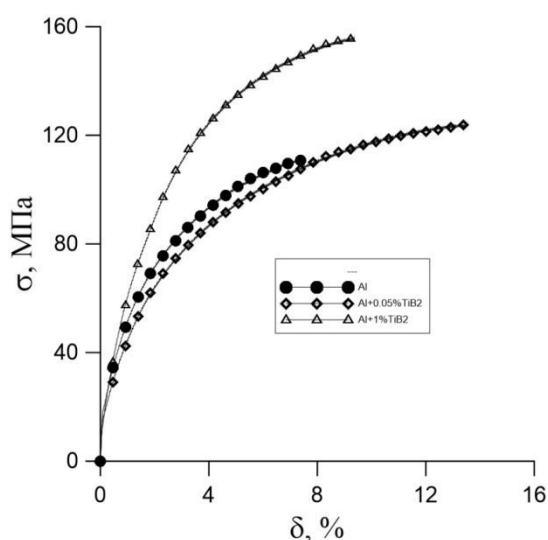


Рис. 1. Кривые растяжения алюминиевых сплавов

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60028 мол\_а\_дж и при финансовой поддержке гранта Президента МК-837.2017.8 договор № 14.Y30.17.837-МК.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vorozhtsov S. et al. The Influence of ScF<sub>3</sub> Nanoparticles on the Physical and Mechanical Properties of New Metal Matrix Composites Based on A356 Aluminum Alloy //JOM. – 2016. – Т. 68. – №. 12. – С. 3101–3106.
2. S. Vorozhtsov, I. Zhukov, A. Vorozhtsov et al.. Synthesis of Micro- and Nanoparticles of Metal Oxides and Their Application for Reinforcement of Al-Based Alloys// Advances in Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 2015. – P. 6.
3. Жуков И.А.,// Самораспространяющийся высокотемпературный синтез боридов Al и Ti // Зиатдинов М.Х., Ворожцов А.Б., Жуков А.С., Ворожцов С.А., Промахов В.В //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2016. – Т. 59. – №. 8. – С. 177–178.
4. Vicario I. et al. Effect of Material and Process Atmosphere in the Preparation of Al-Ti-B Grain Refiner by SHS //Metals. – 2015. – Т. 5. – №. 3. – С. 1387–1396.