

Научная статья

УДК 669.71'782'784:621.791

## Структура и физико-механические свойства упрочненных дисперсными частицами $B_4C$ и $SiC$ алюмоматричных композитов

**Татьяна Сергеевна Черкасова<sup>1</sup>, Сергей Викторович Гладковский<sup>2</sup>,  
Светлана Валерьевна Кутенева<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> [esv@imach.uran.ru](mailto:esv@imach.uran.ru)

**Аннотация.** В работе изучены структура, физико-механические свойства алюмоматричных композитов и получены кривые деформирования сжатием скомпактированного горячим прессованием порошка алюминия и алюмоматричных композитов с различным содержанием упрочняющих частиц  $B_4C$  и  $SiC$ . Установлено, что наибольшее сопротивление пластической деформации имеют композиты комплексного состава, полученные из смеси порошков алюминия, карбида бора и карбида кремния.

**Ключевые слова:** алюмоматричные композиты, горячее прессование, дисперсные частицы, кривые деформирования

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИМАШ УрО РАН по теме № АААА-А18-118020790147-4.

Original article

## Microstructure and Physico-Mechanical Properties of Aluminum Matrix Composites Reinforced by Disperse $B_4C$ and $SiC$ Particles

**Tatiana S. Cherkasova<sup>1</sup>, Sergei V. Gladkovsky<sup>2</sup>,  
Svetlana V. Kuteneva<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Institute of Mechanical Engineering, Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President  
of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup> [esv@imach.uran.ru](mailto:esv@imach.uran.ru)

**Abstract.** In this work microstructure, physico-mechanical properties have been studied, and curves of compression deformation of hot-compacted aluminum powder and aluminum-matrix composites with different contents of strengthening particles  $B_4C$  and  $SiC$  have been obtained. It has been established that the highest resistance to plastic deformation is possessed by composites of complex composition obtained from a mixture of powders of aluminum, boron carbide, and silicon carbide.

**Keywords:** aluminum-matrix composites, hot pressing, disperse particles, deformation curves

**Funding.** The work was carried out within the framework of the state task of Institute of Mechanical Engineering Ural Branch of the Russian Academy of Sciences on the topic No. AAAA18-118020790147-4.

**А**люмоматричные композиты, упрочненные дисперсными карбидными и оксидными порошковыми частицами ( $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $Ti_xC_y$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ), в настоящее время находят все более широкое применение в качестве конструкционного, износостойкого, нейтронозащитного материалов в транспортном машиностроении, атомной и авиакосмической промышленности. При этом весьма актуальной является проблема обоснования выбора состава, размеров и объема частиц твердой фазы, а также технология компактирования порошковых смесей [1].

В настоящей работе были исследованы структура и физико-механические свойства полученных алюмоматричных композитов с различным содержанием упрочняющих частиц  $B_4C$  и  $SiC$ , полученных методом горячего прессования. Исходными материалами для получения были порошки алюминия марки ПА-4 со средним размером частиц 50 мкм, порошки  $B_4C$  с размером частиц 7–13 мкм и  $SiC$  с размером частиц 15–50 мкм. Получение консолидированного порошка алюминия (состав № 3) и алюмоматричных композитов на основе смесей  $Al$  — 25 вес. %  $B_4C$  (состав № 4),  $Al$  — 25 вес. %  $SiC$  (состав № 5),  $Al$  — 30 вес. %  $B_4C$  — 15 вес. %  $Cu$  (состав № 6) и  $Al$  — 12,5 вес. %  $B_4C$  —

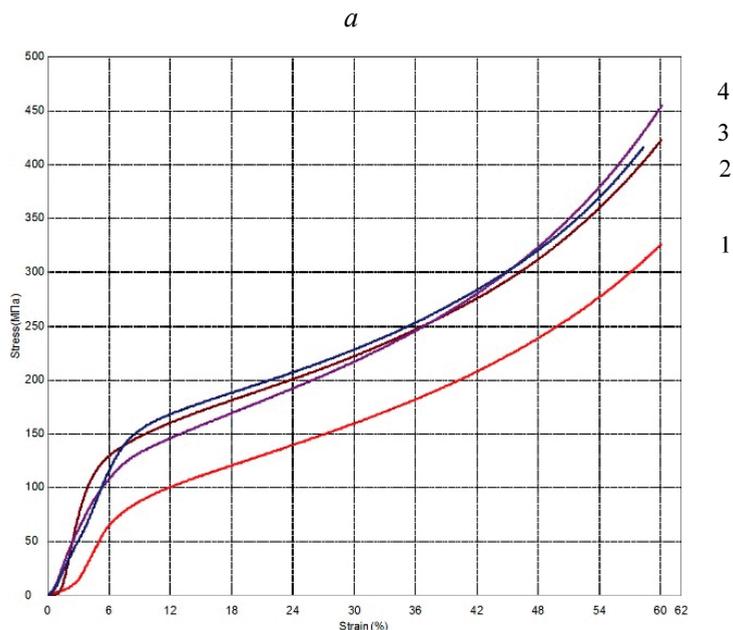
12,5 вес. %SiC (состав № 7) проводилось в ЦКП «Пластометрия» ИМАШ УрО РАН методом горячего прессования на прессе высокого давления с усилием 90 тс при температурах 500 °С, 560 °С и давлении в контейнере в пределах значений 304–480 МПа. Диаметр полученных заготовок составлял 36–38 мм, а высота — 9–10 мм. Металлографический анализ образцов алюмоматричных композитов проводился на нетравленных шлифах с использованием оптического микроскопа НЕОРНОТ-21. Микротвердость композитов определяли по отпечаткам алмазной пирамидки Виккерса на приборе Shimadzu HNV-G21DT при нагрузке 490,3 мН (0,05 кгс). Испытания композиционных материалов на сжатие проводилось на образцах размером  $\approx 10 \times 10 \times 10$  мм на испытательной машине Shimadzu AG-50kNXD при комнатной температуре по ГОСТ 25.503–97. Значения плотности ( $\rho_k$ ), пористости ( $P_{отк}$  %), водопоглощения (В), микротвердость (HV0,05) и условный предел текучести на сжатие ( $\sigma_{0,2}^{сж}$ ) образцов скомпактированного алюминия и алюмоматричных композитов приведены в табл. ниже.

Физико-механические характеристики изученных материалов

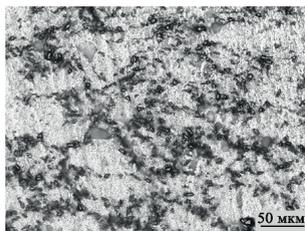
Состав материала	$\rho_k$ , г/см <sup>3</sup>	$P_{отк}$ , %	В, %	HV0,05	$\sigma_{0,2}^{сж}$ , МПа
Al (№ 3)	2,56	1,5	0,5	34	66
Al — 25 % В <sub>4</sub> С (№ 4)	2,38	3,4	1,1	45	92
Al — 25 % SiC (№ 5)	2,55	3,7	1,2	39	80
Al — 12,5 % В <sub>4</sub> С — 12,5 % SiC (№ 7)	2,54	1,1	0,3	44	147

Установлено, что образцы № 3, 5 и 7 имеют близкие повышенные значения плотности  $\rho_k = 2,54 \dots 2,56$  г/см<sup>3</sup>), а минимальная плотность ( $\rho_k = 2,38$  г/см<sup>3</sup>) наблюдается на образцах композита № 4 (Al — 25 % В<sub>4</sub>С). При этом наименьшая открытая пористость  $P_{отк}$  (1,1 %) и величина водопоглощения В (0,3 %) достигаются на образцах композита № 7 (Al — 12,5 % В<sub>4</sub>С — 12,5 % SiC), а наибольшие значения этих показателей соответствуют композитам № 4 (Al — 25 % В<sub>4</sub>С) и № 5 (Al — 25 % SiC). По результатам замера микротвердости установлено, что наименьшей микротвердостью обладает образец из скомпактированного порошка алюминия ПА-4 (34 HV0,05), а наибольшие значения зафиксированы на образцах алюмоматричных композитов с добавка-

ми 25 вес. %  $B_4C$  (45 HV0,05). Минимальные значения предел текучести на сжатие  $\sigma_{0,2}^{сж}$  (66 МПа) наблюдаются на образцах скомпактированного алюминия, а максимальные (147 МПа) на композите состава № 7 (Al — 12,5%  $B_4C$  — 12,5% SiC). При этом добавки по 12,5 вес. % порошков  $B_4C$  и SiC (в сумме 25 вес. %) обеспечивают почти в 2 раза более высокие значения  $\sigma_{0,2}^{сж}$  по сравнению с композитами, содержащими только добавки порошков  $B_4C$  и SiC по 25 вес. %. (см. рис. ниже).



*б*



*в*

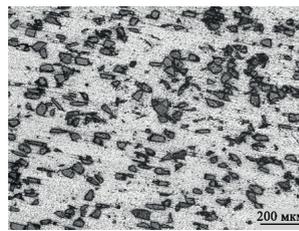


Рис. Кривые сжатия скомпактированных образцов *a*:  
 1 — Al; 2 — Al — 25% SiC; 3 — Al — 25%  $B_4C$ ; 4 — Al — 12,5%  $B_4C$  + 12,5% SiC;  
*б* — структура композитов Al — 25%  $B_4C$  и *в* — Al — 25% SiC

Согласно представленным на рисунке кривым сжатия образцов наименьшие напряжения пластического течения на всем участке деформирования сжатием достигаются на образцах скомпактированного алюминия № 3. Кривые сжатия образцов из композитов составов № 4 (Al — 25 % B<sub>4</sub>C), № 5 (Al — 25 % SiC) и № 7 (Al — 12,5 % B<sub>4</sub>C — 12,5 % SiC) в интервале деформаций 30–50 % различаются незначительно, однако при обжатиях со степенями 15–30 % наиболее высокие напряжения течения характерны для композита состава № 7.

#### **Список источников / References**

1. Krishan K. Chawla Composite Materials. Science and Engineering. New York : Springer, 2013. 552 p.