

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ Al-Si-Sn

В.Е. КАРАВАЕВ<sup>1</sup>, А.Л. СКОРЕНЦЕВ<sup>1,2</sup>, Н.М. РУСИН<sup>2</sup>, Е.Н. КОРОСТЕЛЕВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [vladimirkaravaev1994@yandex.ru](mailto:vladimirkaravaev1994@yandex.ru)

Проблема снижения интенсивности износа ответственных деталей в узлах трения является актуальной, а для ее решения требуется создание новых антифрикционных материалов с улучшенными механическими и трибологическими свойствами или модернизация существующих. Так, сплавы на основе системы Al-Sn отвечают всем необходимым требованиям, предъявляемым таким материалам. С увеличением содержания мягкого олова, выполняющего функцию твердой смазки, возрастает их износостойкость и давление схватывания со стальным контртелом.

Однако, при получении таких сплавов литьем содержание олова в них ограничено 20 вес.% по причине дезинтеграции алюминиевого каркаса оловянными прослойками при кристаллизации расплава и, как следствие, значительного снижения несущей способности и пластичности сплавов. Оказалось, что решить данную проблему можно, например, с помощью методов порошковой металлургии. Причём в этом случае предельная концентрация олова в спеченных композитах Al-Sn, при которой алюминиевый каркас остается ещё связанным, достигает 50 вес.%. К сожалению, несущая способность таких спеченных материалов резко снижается с ростом концентрации олова выше 30%, поэтому наилучшей износостойкостью обладал композит, содержащий 40 вес.% Sn [1]. Повысить несущую способность композитов можно за счёт повышения связанности матричного каркаса, либо при той же связанности путем его легирования. Поскольку алюминий и олово в твердой фазе взаимно нерастворимы, то для указанной цели лучше всего использовать порошки готового алюминиевого сплава, легированного заданным количеством компонентов. В настоящей работе в качестве такого компонента был выбран кремний, поскольку известно, что он повышает износостойкость алюминиевых сплавов, а также не растворяется в олове и, тем самым, не будет ухудшать его смазочные свойства [2].

*Целью настоящей работы* является исследование влияния режима спекания порошковых прессовок и последующего горячего их прессования на результирующую плотность, структуру и триботехнические свойства композитов (Al-12Si)-40Sn.

В качестве исходного материала в работе использовались промышленные порошки олова марки ПО 2 с размером частиц менее 45 мкм и порошки расплывённого сплава эвтектического состава Al-12Si с размером частиц менее 80 мкм. После механического смешивания данных порошков из них прессовались брикеты пористостью  $\approx 10\%$ , которые затем спекались в вакуумной печи. Механические свойства композитов определяли путем испытания на сжатие (ГОСТ 25.503-97) со скоростью 0,5 мм/мин на машине Walter+BaiAGLFM-125. Триботехнические испытания композитов проводили в условиях сухого трения их по стали по схеме «палец – диск» на триботестере фирмы «Tribotechnic» (France). Скорость скольжения диска составляла 0,6 м/с, а давление достигало 5 МПа.

Было установлено, что спекание композитов Al-12Si-40Sn при температурах выше эвтектической (577 °С) приводит к потере их формы и вытеканию большого количества жидкого олова. Поэтому в работе спекание прессовок проводили при температурах ниже эвтектической, когда угол смачивания алюминиевых частиц жидким оловом достаточно большой. Спекание в течение одного часа при 550° С показало, что олово в этом случае практически не выпотекает, но при этом плохо проникает на контакты алюминиевых частиц и не стимулирует их к более плотной переукладке. В результате алюминиевый каркас был слабым, а пористость прессовок близка к исходной. Полученные образцы быстро разрушались при механическом испытании на сжатие, а также в процессе трения по стали, даже при малых нагрузках.

С целью улучшения связанности матричного каркаса, температура спекания брикетов была повышена до 570 °С, рассчитывая, что её увеличение приведёт к упрочнению матричного каркаса как за счёт образования шеек спекания вследствие термической активации диффузии атомов алюминия в твердой фазе, а также уплотнения укладки частиц перегруппировкой за счёт увеличения их подвижности вследствие повышения растворимости Al в жидком олове. Оказалось, что такого повышения температуры спекания недостаточно, чтобы вызвать интенсивное уплотнение каркаса из алюминиевых частиц, пористость брикетов даже при длительном спекании снизилась лишь на 2-3 %. Тем не менее, с увеличением времени спекания прочность и пластичность исследуемых композитов заметно увеличиваются, а также наблюдается рост размеров оловянных включений и частиц алюминиевой матрицы. В результате износостойкость композитов при сухом трении по стали значительно улучшается, и такой материал можно эксплуатировать при высоких нагрузках [таблица 1].

Можно полагать, что при снижении пористости спечённого композита (Al-12Si)-40Sn его триботехнические свойства были бы много лучше, однако сделать это путём холодного прессования смеси порошков и последующего её спекания не удастся. Поэтому с этой целью спечённые брикеты (Al-12Si)-40Sn они были подвергнуты горячему уплотнению с усилием 10 тонн при температуре 250°С, при которой алюминий обладает высокой пластичностью, а олово существует в расплавленном состоянии. Такая обработка привела практически к полному исчезновению пор. Как результат, прочность и пластичность спечённого композита значительно повысились [таблица 1]. Одновременно с этим, значительно выросла износостойкость композит и своими показателями не уступала обработанному методом РКУП спечённому композиту Al-40Sn.

Таблица 1 – механические и трибологические свойства спечённых композитов Al-12Si-40Sn

Режим спекания	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Деформация до разрушения $\delta$ , %	Интенсивность изнашивания $I_h$ , мкм/м		
				1 МПа	3 МПа	5 МПа
550°С; 1h+570°С; 10 мин	44	62	3,8	0,26	0,53	0,74
550°С; 1h+570°С; 30 мин	40	61	6	-	-	-
550°С; 1h+570°С; 120 мин	48	80	11	0,10	0,20	0,26
*550°С; 1h+570°С; 10 мин	115	120	8,4	0,10	0,14	0,18

\*Образец после горячего уплотнения при 250°С.

Из проделанной работы следует вывод, что метод спекания брикетов из смеси порошков сплава Al-12Si и олова с последующим их горячим доуплотнением является перспективным способом получения прочных и износостойких самосмазывающихся композитов для узлов трения с ограниченной жидкой смазкой.

*Работа выполнена в рамках проекта СО РАН (программа III.23.2.4) при частичном финансировании по проектам РФФИ № 16-08-00603 и №16-38-00236.*

#### Список литературы

1. Rusin N.M., Skorentsev A.L., Kolubaev E.A. Structure and tribotechnical properties of Al-Sn alloys prepared by the method of liquid-phase sintering // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040. – P. 166–170.
2. Yuan G.-C., Zhang X.-M., Lou Y.-X., Li Z.-J. Tribological characteristics of new series of Al-Sn-Si alloys // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2003. – Vol. 13. – № 4. – P. 774–780.