

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ
КОМПОЗИТОВ (Al-12Si)-Sn**

Н.А. Рединский¹, А.Л. Скоренцев²

Научный руководитель: к.т.н. Н.М. Русин²

¹Томский государственный университет,

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

²Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), Россия,
г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: insait.tomsk@gmail.com

**EFFECT OF STRUCTURE ON TRIBOMECHANICAL PROPERTIES OF SINTERED (Al-12Si)-Sn
COMPOSITES**

N.A. Redinskiy¹, A.L. Skorentsev²

Scientific Supervisor: Ph. Dr. N.M. Rusin²

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, pr. Lenina, 36, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (ISPMS
SB RAS), Russia, Tomsk, pr. Akademicheskii 2/4, 634055

E-mail: insait.tomsk@gmail.com

Abstract. *The structure, mechanical and tribological properties of sintered (Al-12Si)-xSn composites were investigated in the present study. The composites were obtained by sintering of the briquettes made of aluminum (Al-12Si) and tin powders mixture. It was found that the hot densification substantially increases the strength of sintered composites and also makes much higher their wear resistance under the dry friction against a steel counterbody. The mechanical properties of the obtained materials slowly decrease with an increasing of tin content up to 40 wt. %, while their wear resistance increases.*

Введение. Сплавы системы Al-Si, известные как силумины, широко применяются в качестве износостойких материалов в двигателестроении. Содержащиеся в них износостойкие твёрдые частицы кремния выступают над поверхностью и в процессе трения воспринимают внешнюю нагрузку, предотвращая, таким образом, алюминиевую матрицу от непосредственного контакта с контртелом и изнашивания её схватыванием. Интенсивность изнашивания матрицы может быть понижена, если в её состав ввести дополнительно олово, способное размазываться по поверхности и предотвращать пару трения от изнашивания схватыванием [1]. При этом содержание олова в литых промышленных алюминиевых сплавах обычно ограничивают 20 вес.% по причине ослабления матрицы из-за её дезинтеграции оловянными прослойками. Получать алюминиевые сплавы с гораздо более высоким содержанием олова стало возможным при переходе на порошковую технологию, а их прочность повышалась последующей деформационной обработкой спечённых сплавов [2]. Поэтому целью настоящей работы было исследование влияния режима спекания и последующего горячего доуплотнения на структуру и трибомеханические свойства композитов (Al-12Si)-xSn.

Материалы и методы исследования. Образцы для спекания готовили прессованием смеси порошков олова марки ПО 2 с порошками алюминиевого сплава эвтектического состава (Al-12Si). Смесь прессовали в брикеты пористостью 10-13 % и спекали в вакуумной печи. Весовое содержание олова в брикетах составляло 10-40 %. Механические свойства композитов определяли на машине Walter+BaiAGLFM-125 путем сжатия образцов со скоростью 0,5 мм/мин. Триботехнические испытания проводили с помощью триботестера фирмы «Tribotechnic» (France) по схеме «палец – стальной диск» при скорости скольжения 0,6 м/с и давлении 1–5 МПа и при отсутствии жидкой смазки.

Результаты и их обсуждение. Для получения методом жидкофазного спекания беспористых материалов необходимо, чтобы частицы твёрдой фазы в процессе спекания могли перегруппировываться в более плотную конфигурацию под действием капиллярных сил. То есть, жидкая фаза должна хорошо смачивать частицы и немного их растворять для вывода из зацепления. В случае композитов Al-Sn эти условия достигаются при температурах выше 600 °С, когда матрица эвтектического состава (Al-12Si) неизбежно расплавится. Поэтому спекание прессовок из композиционной смеси вынужденно проводили при температуре ниже эвтектической 570 °С, с предварительной выдержкой их в течение часа при 550° С.

Указанная температура не обеспечивает хорошее смачивание частиц оловом, и оно не проникает на многие их контакты, которых становится больше по мере понижения концентрации олова в брикете. Отсутствие жидкости на контактах твёрдых частиц снижает их подвижность. Плохому растворению контактов способствовала также малая растворимость твёрдого алюминия в жидком олове при данной температуре. Как следствие, спечённые образцы содержали большое количество пор, а их матричный каркас из алюминиевых частиц оставался слабым (таблица 1). И только при содержании олова 40% оно образовывало развитую непрерывную сеть, в ячейках которой были зацементированы частицы силумина (рис. 1а). Образцы с такой структурой уже можно было испытывать на сжатие и износостойкость.

Таблица 1

Характеристики структуры и трибологические свойства спеченных композитов (Al-1Si)-Sn

Содержание олова, вес. %	Режим получения	Плотность, г/см ³	Предел прочности, МПа	Интенсивность изнашивания I _h , мкм/м		
				1 МПа	3 МПа	5 МПа
10	(570 °С; 10 мин)	2,38	треснул	-	-	-
	(570 °С; 10 мин) + ГД 250°С	2,84	163	0,11	0,19	0,34
20	(570 °С; 10 мин)	2,57	треснул	-	-	-
	(570 °С; 10 мин) + ГД 250°С	3,04	153	0,1	0,16	0,21
30	(570 °С; 10 мин)	2,82	31	-	-	-
	(570 °С; 10 мин) + ГД 250°С	3,29	135	0,13	0,19	0,21
40	(570 °С; 10 мин)	3,25	62	0,26	0,53	0,74
	(570 °С; 2ч)	3,29	80	0,10	0,20	0,26
	(570 °С; 10 мин) + ГД 250 °С	3,55	119	0,10	0,14	0,18

Ввиду недостаточно быстро протекающих при данной температуре спекания диффузионных процессов растворения твёрдой фазы в жидкой, перегруппировка частиц, а с ней и усадка образцов с увеличением времени спекания развиваются слабо. В то же время, частицы на контактах свариваются между собой (рис. 1б), матричный каркас становится прочнее, а с ним и весь композит. Правда, улучшение механических свойств относительно, и значительно повысить их за разумное время спекания

не удаётся. Поэтому спеченные образцы были подвергнуты последующему горячему доуплотнению (ГД) при 250 °С. В результате такой обработки плотность образцов значительно увеличилась, поры практически исчезли (таблица 1), а макроструктура композитов стала более однородной (рис. 1в). Прочность и пластичность уплотнённых композитов (Al-12Si)-xSn также значительно выросли. Предел их прочности достиг своего теоретического аддитивного значения (табл. 1) и снижился с увеличением содержания в них мягкого олова, оставаясь при этом выше прочности самосмазывающихся сплавов марок АО с аналогичной концентрацией твёрдой смазки (ГОСТ 14113-78).

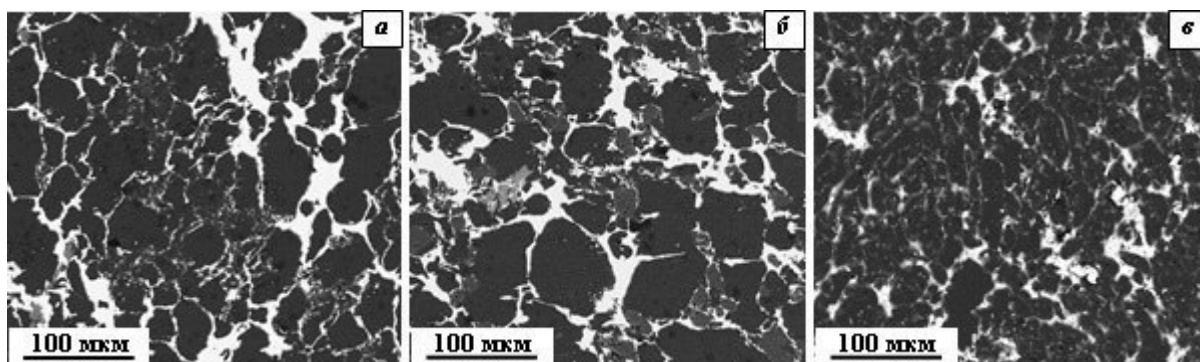


Рис. 1. Структура композита (Al-12Si)-40Sn. Температура спекания 570 °С, время выдержки 10 (а, в) и 120 (б) минут. Температура доуплотнения – 250 °С (в)

Трибологические испытания при сухом трении показали, что ГД положительно сказывается также и на износостойкости спеченных композитов (Al-12Si)-Sn, особенно при высоких давлениях. Так, при давлении 5 МПа износостойкость подвергнутого ГД композита (Al-12Si)-40Sn увеличилась практически в 4 раза по сравнению со спеченным образцом (табл. 1). Было также установлено, что, как и в случае двухфазных композитов Al-Sn [2], интенсивность изнашивания спеченных сплавов (Al-12Si)-xSn снижается с увеличением содержания в них олова. Максимальное сопротивление изнашиванию демонстрировал сплав, содержащий 40 вес.% (≈ 20 об. %) олова.

Заключение. Из представленных результатов следует, что метод спекания брикетов из смеси распылённых порошков сплава (Al-12Si) и олова с последующим их горячим доуплотнением позволяет получать прочные износостойкие композиты на алюминиевой основе. С увеличением содержания в них олова до 40 вес. % прочность полученных материалов плавно снижается, но их износостойкость при сухом трении при этом возрастает.

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. 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.
2. 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.