

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ СПЕКАНИЕМ КОМПОЗИТОВ Al-Sn

А.Л. Скоренцев^{1,2}, М.Г. Криницын^{1,2}

Научный руководитель: к.т.н. Н.М. Русин¹

¹Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН), Россия,
г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055;

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: skoralexan@mail.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF SINTERED Al-Sn COMPOSITES

A.L. Skorentsev^{1,2}, M.G. Krinitcyn^{1,2}

Scientific Supervisor: Ph. Dr. N.M. Rusin¹

¹Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (ISPMS
SB RAS), Russia, Tomsk, pr. Akademicheskii 2/4, 634055

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, pr. Lenina, 30, 634050

E-mail: skoralexan@mail.ru

Abstract. *In the present study, the structure, mechanical and tribological properties of sintered Al-40Sn composites were investigated. The composites were obtained by sintering of the briquettes made of aluminum (Al-10Zn or Al-0.5Si) and tin powders mixture. It was found that the greatest influence on the formed structure and properties of the sintered samples has the wetting of solid phase by liquid tin. Aluminum matrix has the highest contiguity and the samples have the lowest porosity after the sintering at 600 °C, in conditions of partial wetting of aluminum by liquid phase. The wear resistance and strength of the composites grow with an enlarging of aluminum matrix connectedness and decrease in porosity of the material.*

Введение. Двухфазные сплавы Al-Sn широко применяются в узлах трения в виде тонкого поверхностного слоя подшипниковых вкладышей. Износостойкость покрытий растёт, а несущая способность значительно снижается при увеличении содержания в них олова [1, 2], которое стремится расположиться на границах зёрен и дезинтегрирует Al каркас. Получить сплавы со связанным Al каркасом при большом количестве в них Sn удалось с помощью методов порошковой металлургии [3]. Однако твёрдость спечённой алюминиевой матрицы невелика, и большая доля износа образцов приходится на деформационную его составляющую. Её можно уменьшить, если повысить прочность алюминиевой матрицы. Целью настоящей работы является исследование влияния легирования порошков алюминия цинком и кремнием на особенности формирующейся при спекании структуры композитов Al-40Sn, их механические и трибологические свойства.

Материалы и методы исследования. Смеси из порошков сплавов Al-0,5Si или Al-10Zn (ОАО «РУСАЛ ВАМИ») с порошками олова марки ПО 2 готовили в конусном смесителе в течение 4-х часов. Затем из них прессовались брикеты до плотности $\approx 0,83-0,85\rho_{теор}$ и спекались в вакуумной печи типа СНВЭ. Испытания на сжатие образцов осуществляли со скоростью 0,5 мм/мин на машине Walter+Bai AG LFM-125. Триботехнические испытания по схеме «палец-диск» проводили на приборе Tribotechnic

(Франция) при давлении 3 МПа и скорости скольжения 0,6 м/с. Макроструктурные исследования осуществляли с помощью электронного микроскопа LEO EVO 50 (ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН).

Результаты. Было установлено, что параметры структуры композитов (КМ) меняются с температурой спекания немонотонно. Например (табл. 1), связанность каркаса (число контактов на одну Al частицу) с повышением температуры спекания до 600 °С растет, а затем быстро начинает снижаться по причине резкого увеличения количества жидкой фазы и уменьшения угла смачивания ею алюминия. Жидкости за счёт растворения в жидком олове атомов алюминия образуется так много, что при температуре выше 615 °С образцы теряют форму под собственным весом.

Таблица 1

Влияние режима спекания на характеристики структуры и трибологические свойства КМ Al-40Sn

| Состав | Режим спекания | Число контактов на одну частицу, N_k | Пористость, % | Напряжение течения (σ_{-4}), МПа | Интенсивность изнашивания, мкм/м |
|-----------------|----------------|----------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------|
| (Al-0,5Si)-40Sn | 570 °С; 1ч | 1,7 | 11,6 | 38 | 0,75 |
| – | 585 °С; 1ч | 1,8 | 9,3 | 42 | – |
| – | 585 °С; 3ч | 2,1 | 7,0 | 46 | – |
| – | 600 °С; 1ч | 3,4 | 4,5 | 56 | 0,22 |
| – | 615 °С; 1ч | 1,6 | 10,4 | 33 | 0,43 |
| (Al-10Zn)-40Sn | 570 °С; 1ч | 1,5 | 14,2 | 39 | – |
| – | 585 °С; 1ч | – | 13,6 | 45 | – |
| – | 600 °С; 1ч | 2,5 | 5,6 | 62 | 0,55 |
| – | 615 °С; 1ч | 1,8 | 8,8 | – | – |

При $T_{сп}$ ниже 600 °С жидкой фазы мало, а двугранный угол смачивания частиц оловом большой, и расплав проникает не на все контакты. Трение на контактах частиц не позволяет осуществить более плотную их переукладку, поэтому связанность Al каркаса была низкой (рис. 1), а пористость композитов – большой. При $T_{сп} \geq 600$ °С уменьшается не только двугранный угол смачивания, но и ускоряется растворение поверхностных неровностей на Al частицах, они выходят из зацепления и уплотняются под действием капиллярных сил. Число соседей у частиц возрастает, и алюминиевый каркас становится более связанным. При увеличении времени спекания полностью растворяются не только выступы на частицах, но и сами мелкие частицы. Снижение их числа и увеличение объёма жидкой фазы приводят к тому, что связанность каркаса начинает убывать.

Обнаружено, что пластическое течение в композитах со слабосвязанным каркасом стремится локализоваться исключительно в прослойках мягкого олова, и, как результат, при сжатии образцов более чем на 4 % напряжение их течения начинает снижаться (рис. 2). Наоборот, течение КМ Al-Sn с малой пористостью и со связанным алюминиевым каркасом устойчиво, и они обладают наибольшей прочностью и пластичностью. Из табл. 1 следует, что это условие выполняется при спекании пресовок в течение часа при 600 °С. Как показали испытания в условиях сухого трения, образцы с максимально связанным каркасом изнашиваются также наименее интенсивно. При более высоких температурах матричный каркас ослабевает, а с ним снижаются и трибомеханические свойства композитов.

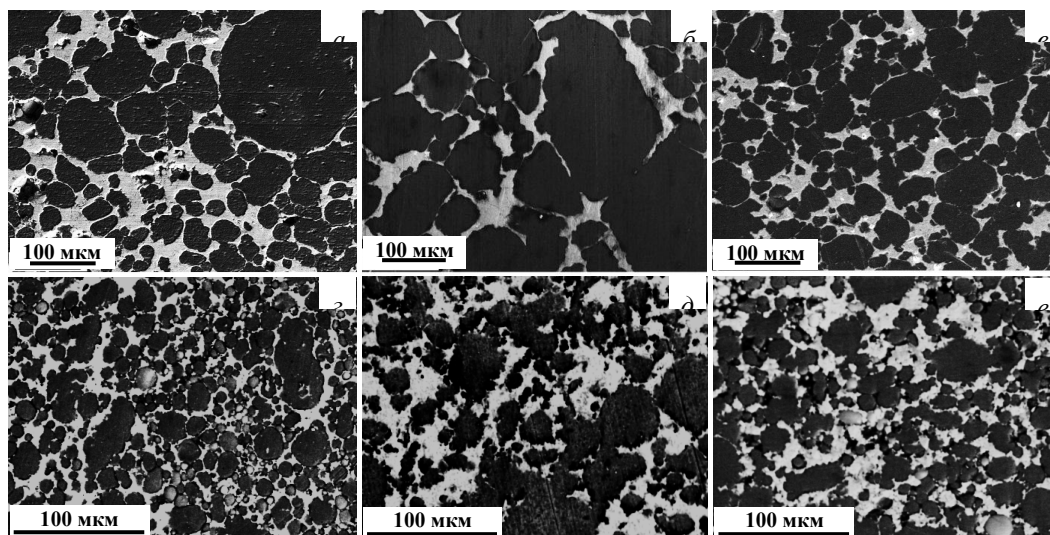


Рис. 1. Структура спечённого сплава (Al-0,5Si)-40Sn (а-в) и (Al-10Zn)-40Sn (з-е) (прослойки олова – светлые). Температура спекания, °С: а, з – 570, б, д – 600, в, е – 615. Время спекания 1 час

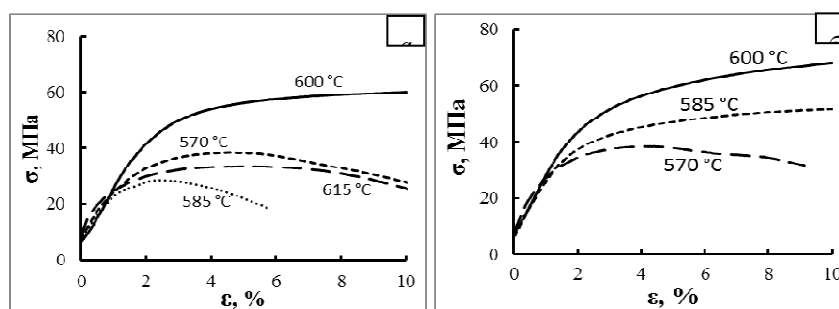


Рис. 2. Кривые сжатия спеченных (1 час) композитов (Al-0,5Si)-40Sn (а) и (Al-10Zn)-40Sn (б)

Выводы. На основании представленных результатов можно заключить.

1. Независимо от состава исходных алюминиевых порошков матрица в композитах Al-40Sn оказывается наиболее связанной, а пористость их минимальной при спекании по режиму: 1 час выдержки при 600 °С.

2. Образцы, спечённые по оптимальному режиму, демонстрируют максимальную износостойкость и наибольшую прочность и пластичность при сжатии.

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. Bushe N.A., Goryacheva I.G., Makhovskaya Yu.Yu. Effect of Aluminum Alloy Composition on Self-Lubrication of Frictional Surfaces // Wear. – 2003. – Vol. 254. – P. 1276–1280.
2. Abed E.J. Study of Solidification and Mechanical Properties of Al-Sn Casting Alloys // Asian Transaction on Engineering. – 2012. – Vol. 02. – № 3. – P. 89–98.
3. 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.