

УДК 669.(6–8):539

## МИКРОСТРУКТУРА СПЛАВА Sn-Zn-Bi-Ga, ПОЛУЧЕННОГО ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

Гусакова О.В.<sup>1</sup>, Шепелевич В.Г.<sup>2</sup><sup>1</sup>Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ  
Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

Переход на экологически чистую пайку привел к разработке широкого круга сплавов, в той или иной степени пригодных для замены эвтектики Sn-Pb. В частности, широко разрекламированные сплавы Sn-Cu и Sn-Ag-Cu, имеют более высокую температуру плавления, чем Sn-Pb, что приводит к отрицательному избыточному температурному воздействию на элементы печатных плат. Эвтектический сплав Sn – 14,2 ат.% Zn имеет температуру плавления 198 °С наиболее близкую к температуре плавления эвтектики Sn-Pb (183 °С). Однако он обладает низкой коррозионной стойкостью из-за высокой концентрации цинка. Для повышения коррозионной стойкости и растекаемости, а также улучшения механических свойств, применяют дополнительное легирование висмутом, индием, галлием, которое при квазиравновесном затвердевании приводит к неоднородной микроструктуре и расширению температурного интервала плавления [1]. Поэтому актуальность исследований обусловлена практической важностью создания материалов для бессвинцовой пайки с узким интервалом и различной температурой плавления и микродисперсной структурой.

В работе представлены результаты исследования зеренной структуры и микроструктуры фольги, полученной методом сверхбыстрой закалки из расплава. В этом методе для получения фольги использовался медный барабан вращающийся с линейной скоростью 20 м/с. На внутреннюю отполированную поверхность барабана выливали небольшой объем расплава (0,2–0,3 г), который растекался тонким слоем и затвердевал в виде фольги толщиной 50–70 мкм. Скорость охлаждения расплава, достигаемая при сверхбыстрой закалке из жидкого состояния не ниже  $10^5$  К/с.

Для изготовления фольги использовался предварительно приготовленный эвтектический сплав Sn – 14,2 ат.% Zn – 1,7 ат.% Bi, в который добавлялся Ga. В работе представлены результаты исследования фольги сплава Sn – 12,2 ат.% Zn – 1,6 ат.% Bi – 5,8 ат.% Ga.

Рентгеноструктурные исследования, показали, что на дифрактограмме фольги сплава Sn – 12,2 ат.% Zn – 1,6 ат.% Bi – 5,8 ат.% Ga присутствуют дифракционные линии (0002, 100,  $10\bar{1}$  1,  $10\bar{1}$  2,  $10\bar{1}$  3, и др), принадлежащие цинку а также пики (200, 101, 211, 112 и др) соответствующие фазе  $\beta$ -Sn, что согласуется с равновесными диа-

граммами бинарных сплавов компонентов, входящих в состав фольги.

Изображения микроструктуры поверхности исходной фольги исследуемого сплава, полученные через 2 часа после её изготовления в отраженных электронах на растровом электронном микроскопе, представлены на рисунке 1.

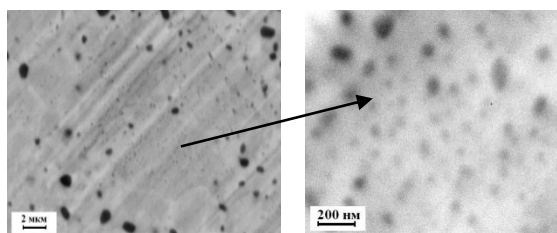


Рисунок 1 – Микроструктура исходной фольги сплава Sn – 12,2 ат.% Zn – 1,6 ат.% Bi – 5,8 ат.% Ga

В микроструктуре фольги присутствуют темные включения. Выявляются участки, с большим количеством включений со средним размером 110 нм. По границам этих участков локализованы крупные включения размером до 1 мкм. Методом случайных секущих определено распределение хорд случайных секущих на сечениях включений по размерным группам (рисунок 2).

На рисунке 2 приведено распределение Zn, Bi и Ga вдоль линии сканирования L – L<sup>1</sup>, полученное методом рентгеноспектрального микроанализа. Наблюдаемые включения содержат цинк. Концентрация цинка в участках свободных от крупных включений уменьшается до 5 ат.%. Концентрация Ga и Bi во включениях уменьшается, а в матрице находится в пределах 6 и 1,6 ат.%, соответственно.

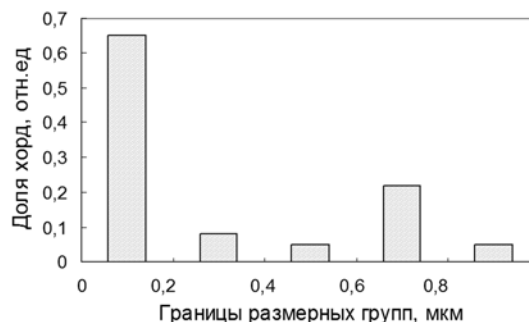


Рисунок 2 – Распределение хорд случайных секущих на сечениях включений по размерным группам

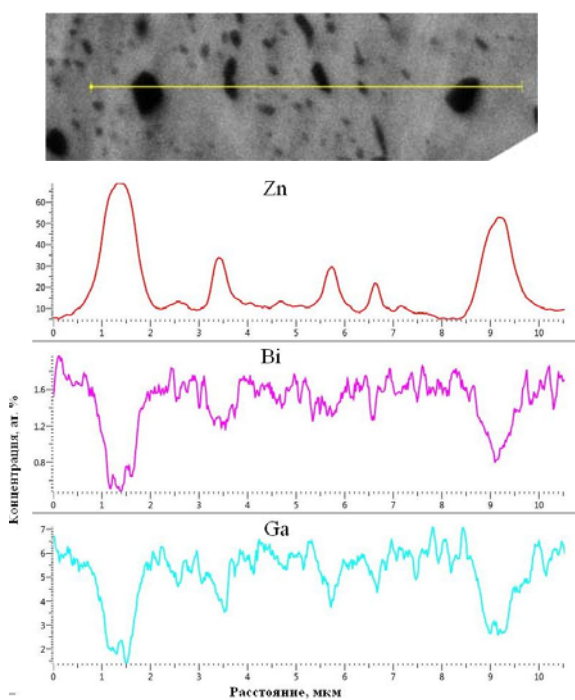


Рисунок 3 – Распределение концентраций Zn, Bi и In вдоль линии сканирования L-L<sup>1</sup>

Методом дифракции обратно отраженных электронов исследована зеренная структура фольги сплава Sn – 12,2 ат. % Zn – 1,6 ат. % Bi – 5,8 ат. % Ga. На рисунке представлена зеренная структура у поверхности фольги, прилегающей к кристаллизатору.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при высокоскоростном затвердевании сплава Sn – 12,2 ат. % Zn – 1,6 ат. % Bi – 5,8 ат. % Ga кристаллизация протекает с образованием пересыщенного твердого раствора Zn, Bi и Ga в Sn. Согласно равновесной диаграмме состояния [2] при комнатной температуре в Sn растворяется 7,1 ат. % Ga, поэтому весь Ga, введенный в фольгу, находится в твердом растворе. Показано, что высокоскоростное затвердевание повышает растворимость Bi в Sn [3]. Однако равновесная растворимость цинка, в олове составляет 0,36 ат. %. Поэтому при комнатной температуре наблюдается распад пересыщенного твердого раствора с выделением включений цинка. В течение 2 часов после изготовления формируются наноразмерные включения в объеме зерна. Наблюдаются равноосная и вытянутая форма включений. Более крупные включения до 1 мкм на границах зерен вырастают за счет сравнительно большей скорости диффузии по границам, чем объемная.

Наблюдения за процессами старения в фольге исследуемого сплава показали, что область у границы зерна постепенно обедняется включениями цинка, а их размер на границе зерна растет. На рисунке 5 приведен пример микроструктуры фольги через 2 000 ч после изготовления.

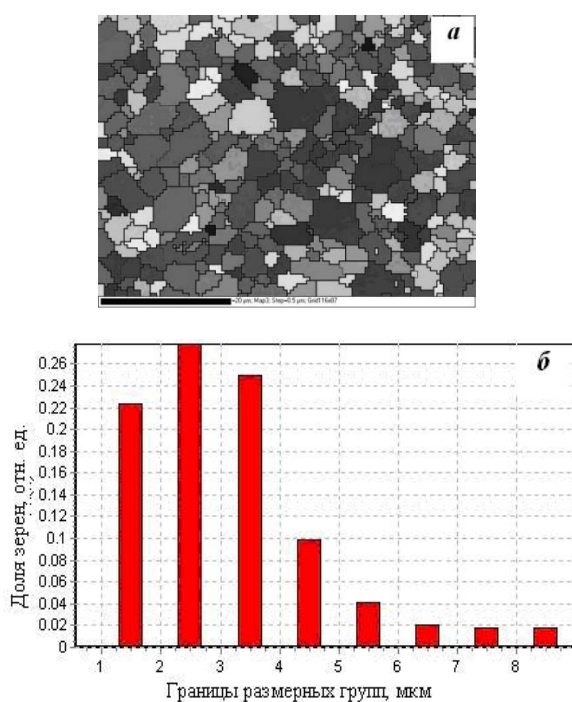


Рисунок 4 – Зеренная структура фольги сплава Sn – 12,2 ат. % Zn – 1,6 ат. % Bi – 5,8 ат. % Ga: а – карта зеренной структуры; б – распределение зерен по размерным группам

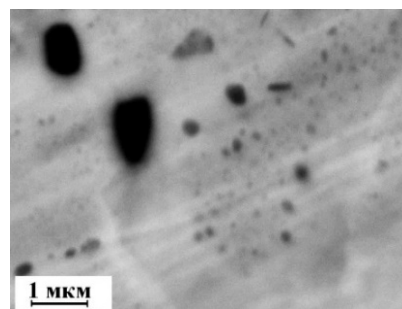


Рисунок 5 – Микроструктура фольги сплава Sn – 12,2 ат. % Zn – 1,6 ат. % Bi – 5,8 ат. % Ga через 2 000 ч старения

Таким образом, добавление в эвтектический сплав Sn – Zn – Bi галлия (5,8 ат. %) приводит к стабилизации микроструктуры.

### Литература

1. Kim Young-Sin, Effect of composition and cooling rate on microstructure and tensile properties of Sn–Zn–Bi alloys / Young-Sin Kim, Keun-Soo Kim, Chi-Won Hwang, Katsuaki Sukanuma // Journal Alloys and Compounds. – 2003. – V. 352. – P. 237–245.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник: в 3 т. – Т.2 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. – 1997. – 1024 с.
3. О.В. Гусакова, В.Г. Шепелевич Микроструктура быстрозатвердевших сплавов системы Sn–Zn–Bi–In // Физика металлов и металловедение. – 2018. – Том 119, № 5. – С. 510–517.