

УДК 548.735: 669.7

О.В. ГУСАКОВА, В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕЙ ФОЛЬГИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ОЛОВО – СВИНЕЦ

Grain structure of rapidly solidified foils of tin – lead alloys has been investigated and phase structure has been obtained. Foils has texture (100) and obtain dispersed impurities of lead. Microhardness of foils depend on their chemical composition.

Высокоскоростное затвердевание (ВСЗ) позволяет существенно модифицировать структуру и изменять свойства материалов [1, 2]. Установлено, что материалы, в частности припой, полученные ВСЗ, характеризуются высокими технологическими параметрами [3, 4]. Появились исследования по влиянию ВСЗ на структуру, механические и электрические свойства сплавов олова с кадмием и висмутом [5, 6]. В связи с этим актуальным является изучение структуры и свойств фольги сплавов олова с другими легирующими элементами, в частности сплавов системы олово – свинец, широко применяемых в различных отраслях промышленности.

Для изготовления таких сплавов использовали олово и свинец, чистота которых не хуже 99,99 %. Компоненты сплавляли в кварцевой ампуле, затем расплав заливали в графитовую форму. Полученные слитки имели размер 130x5x2,5 мм. Сплав из средней части слитков использовали для изготовления фольги. Капля расплава массой 0,2÷0,3 г выплескивалась на полированную внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра, линейная скорость которого 15 м/с, и затвердевала в виде фольги. Для исследования использовали фольгу толщиной 30÷80 мкм. Скорость охлаждения жидкой фазы, как показал расчет [7], составила ~ 10⁶ К/с. Рентгеноструктурные исследования фольги

выполняли на установке ДРОН-3 (длина волны рентгеновского излучения $\lambda=1,540 \text{ \AA}$). При изучении текстуры фольги олова и его сплавов методом обратных полюсных фигур использовались дифракционные линии 200, 101, 220, 211, 301 и 112 твердого раствора на основе олова. Их полюсные плотности рассчитывали по методу Харриса [8]. Абсолютная погрешность определения полюсных плотностей составила 0,1. Структура поверхности и химический состав фольги изучался посредством растрового электронного микроскопа LEO 1455 VP. Микротвердость H_v измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10 г; относительная погрешность измерения равнялась 5 %.

Размер большинства зерен фольги олова составил около 20 мкм. Легирование олова свинцом приводит к уменьшению среднего размера зерна до нескольких микрон. Значения полюсных плотностей дифракционных линий олова и его твердых растворов в быстрозатвердевшей фольге сплавов олова со свинцом приведены в таблице. Наибольшее значение полюсной плотности характерно для дифракционной линии 200, что указывает на образование текстуры (100). При этом текстура не зависит от концентрации свинца в сплавах. Известно [8], что в слитках, полученных по традиционным технологиям, формируется текстура (110). Кристаллическая решетка β -олова является тетрагональной с отношением параметров элементарной ячейки $a/c = 1,83$ [9]. Межплоскостное расстояние d_{100} для β -Sn является наибольшим, что определяет преимущественный рост зерен, у которых плоскости (100) перпендикулярны направлению теплоотвода при высокоскоростном затвердевании.

Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевшей фольги сплавов системы олово – свинец

Дифракционные линии	Концентрация свинца, ат. %			
	0	2	4	12
200	5,7	5,7	5,8	5,6
101	0,1	0,2	0,1	0,2
220	0,2	0,1	0,1	0,1
211	0,0	0,0	0,0	0,0
301	0,0	0,0	0,0	0,0
111	0,0	0,0	0,0	0,0

Быстрозатвердевшая фольга исследованных сплавов является двухфазной. На рис. 1 приведен вид поперечного среза фольги Sn-4 ат. % Pb при различных увеличениях. Светлые включения представляют собой фазу свинца.

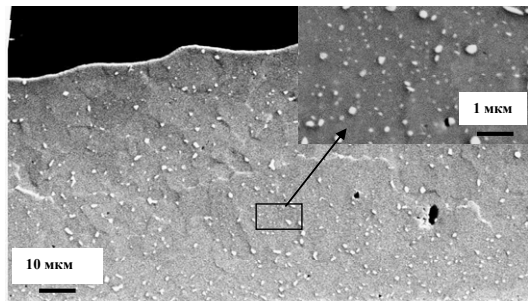


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения быстрозатвердевшей фольги сплава Sn-4 ат. % Pb

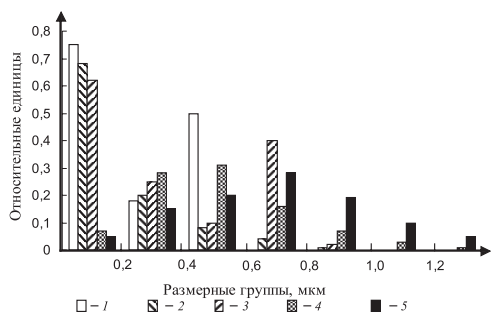


Рис. 2. Распределение частиц второй фазы в быстрозатвердевшей фольге по размерным группам. Содержание свинца, ат. %: 1–1, 2–2, 3–5, 4–15, 5–20

Рис. 2 отражает распределение частиц свинца в фольге сплавов, содержащих 1, 2, 5, 15 и 20 ат. % по размерным группам. Для фольг сплавов, содержащих 1, 2 и 5 ат. % Pb, распределение частиц является убывающим по мере увеличения размера группы. Для фольг сплавов, содержащих 15 и 20 ат. % Pb, аналогичное распределение характеризуется максимумом.

Средний размер выделений второй фазы D в быстрозатвердевшей фольге увеличивается с ростом концентрации свинца (рис. 3). Максимальная растворимость свинца в олове достигает 3 ат. % [10]. Поэтому в сплавах с малым содержанием свинца при высокоскоростном затвердевании возможен «захват» легирующего компонента, приводящий к образованию пересыщенного твердого раствора [2]. Так как олово имеет низкую температуру плавления, то пересыщенный твердый раствор на его основе неустойчив и происходит его распад, при котором выделяются дисперсные частицы второй фазы. При этом выделения частиц свинца преимущественно располагаются по границам зерен, декорируя их. В объеме зерен выделения свинца более мелкие, чем на границах зерен. В сплавах, более богатых свинцом (15 и 20 ат. %), при высокоскоростном затвердевании вторая фаза появляется в результате вырождения эвтектического превращения [11].

Различное происхождение частиц второй фазы при высокоскоростном затвердевании в зависимости от состава сплавов объясняет различный характер распределения их по размерным группам.

Зависимость микротвердости быстрозатвердевшей фольги от химического состава показана на рис. 3. Легирование олова свинцом до 4 ат. % вызывает увеличение микротвердости, а затем наблюдается ее уменьшение. На этом же рисунке приведена зависимость микротвердости от состава для массивных образцов. Для сплавов, содержащих до 10 ат. % Pb, микротвердость фольги превышает данный показатель массивных образцов, полученных из расплава при малых скоростях охлаждения. Такое различие обусловлено тем, что при сверхбыстром затвердевании образуется большее количество дисперсных частиц, чем в массивных образцах. При более высоких концентрациях легирующего элемента размер зерен фольги уменьшается и возможно зернограничное проскальзывание, а как следствие – уменьшение микротвердости фольги по сравнению с массивными образцами сплава Sn-20 ат. % Pb.

Таким образом, проведенные исследования микроструктуры и микротвердости быстрозатвердевшей фольги сплавов системы олово – свинец показали, что в фольге формируется текстура (100). Средний размер дисперсных частиц второй фазы увеличивается с ростом содержания свинца в сплавах. Максимальное значение микротвердости достигается при концентрации свинца 4 ат. %.

1. Калинин А.С., Бергман Г.В. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика. Мн., 2001.
2. Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технология материалов) / Васильев В.А., Митин Б.С., Пашков И.Н. и др.; Под ред. Б.С. Митина. М., 1998.
3. Чунов В.С., Евтеев А.С., Татаринов В.А., Пашенко Ф.Е., Хозиков В.С. // МиТОМ. 1992. № 9. С. 28.
4. Пашков И.Н., Таволжанский С.А., Родин И.В. // Быстрозакаленные материалы и покрытия: Труды 3-й Всероссийской научно-технической конференции. М., 2004. С. 57.
5. Kamal M., El-Bedewi A.B., El-Ashram Tarek // J. of Material Science: Materials in Electronics. 2004. Vol. 15. P. 211.
6. Zhai Q.J., Gao Y.L., Guan W.B., Xu K.D. // Materials Science and Engineering. 2006. A 441. P. 278.
7. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М., 1982.
8. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. М., 1969.
9. Кребс Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений. М., 1971.
10. Хансен М., Андерко К. Структура сплавов: в 3 т. М., 1962. Т. 1, 2.
11. Таран Ю.Н., Мазур В.И. Структура эвтектических сплавов. М., 1978.

Поступила в редакцию 12.08.07.

Ольга Вадимовна Гусакова – аспирант кафедры физики твердого тела. Научный руководитель – В.Г. Шепелевич.

Василий Григорьевич Шепелевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела.

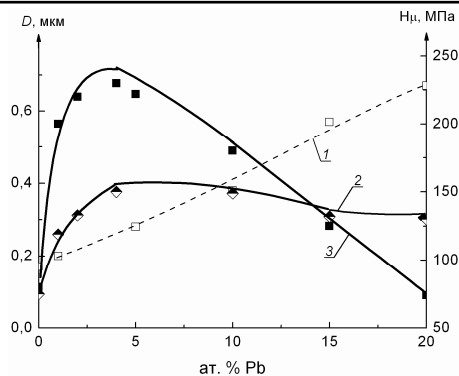


Рис. 3. Зависимость среднего размера выделений второй фазы (1), микротвердости фольги (2) и массивных образцов (3) от состава сплавов системы олово – свинец