

Таблица 1 – Влияние ультразвука на свойства свежесоздаваемых (1) покрытий сплавом олово-висмут и после естественного хранения в течение 12 месяцев в условиях лаборатории (2) (Припой ПОС-61)

Режим электролиза	Без воздействия УЗК				B_i , масс. %	УЗК $I=1,02 \text{ Вт/см}^2$				
	K_p , %		R_k , МОм			K_p , %		R_k , МОм		B_i , масс. %
	1	2	1	2		1	2	1	2	
$i_k=0,5 \text{ А/дм}^2$	95,28	68,19	1,53	-	0,08	95,87	92,94	6,31	1,68	0,32
$i_k=1,5 \text{ А/дм}^2$	93,76	69,40	2,29	-	0,15	92,44	93,18	3,01	1,76	0,50
$i_k=2,5 \text{ А/дм}^2$	87,24	64,37	2,81	-	0,82	94,54	91,81	8,17	2,50	0,51

1. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. Учебник для химико-технол. специальностей вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Выш. Школа», 1975.
2. Дежкунов, Н.В. Оборудование для ультразвуковой интенсификации гальванических техпроцессов / Н.В. Дежкунов [и др.] // Ма-

териалы докладов III РНТС «Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий», БГТУ, Минск, Беларусь. - Минск: БГТУ, 2013. – С. 82–86.

УДК 539.2:669.(6–8)

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА $\text{Bi} - 38 \text{ мас. \% Sn}$ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ СВИНЦОМ

Шепелевич В. Г.

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Бинарная эвтектика системы висмут-олово, а также сплавы, близкие по составу к ней, находят широкое применение в различных отраслях промышленности, например, в качестве припоев [1, 2]. Для улучшения эксплуатационных характеристик эвтектики проводят дополнительное легирование разными элементами. В последние десятилетия получило развитие высокоскоростное затвердевание, при котором скорость охлаждения жидкой фазы выше 10^5 К/с . Высокоскоростное затвердевание приводит к формированию структуры, которую невозможно получить с помощью традиционных технологий синтеза и обработки [3]. В связи с этим важное прикладное и научное значение имеют исследования влияния свинца на микроструктуру сплава $\text{Bi} - 38 \text{ мас. \% Sn}$ с целью создания новых легкоплавких сплавов.

Сплавы $(\text{Bi} - 38 \text{ мас. \% Sn}) - x \text{ мас. \% Pb}$ (в дальнейшем $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$, $x = 2, 4$ и 8) изготовлены из компонентов, чистота которых выше 99,99%. Капля расплава массой $\approx 0,2 \text{ г}$ инжигировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра, где она затвердевала в виде фольги. Толщина исследуемых фольг сплава составляла 40 - 70 мкм. Микроструктура быстрозатвердевших сплавов исследована с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1455VP. Определение параметров микроструктуры осуществлялось методом случайных секущих. Текстура фольг исследована

методом обратных полюсных фигур на дифрактометре ДРОН-3.

Сторона фольги A , находящаяся в контакте с кристаллизатором при затвердевании, имеет зеркальный вид. Противоположная сторона фольги B имеет бугристую структуру, на ней наблюдаются выступы и впадины. На дифрактограмме быстрозатвердевших сплавов $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$ наблюдаются дифракционные линии висмута, β -олова и ϵ -фазы (Pb_2Bi) . Таким образом, исследуемые быстрозатвердевшие сплавы $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$, ($x = 2, 4$ и 8) являются трехфазными. Изображения микроструктуры быстрозатвердевшей фольги и массивного образца, полученного при скорости охлаждения 10^2 К/с , сплава $(\text{BiSn})_{92}\text{Pb}_8$ приведены на рисунке 1. Наблюдаются белые, серые и черные области. Рентгеноспектральный анализ показал, что черные области соответствуют олову, серые – висмуту, белые – ϵ -фазе.

Значения объемной доли олова V_{Sn} и удельной поверхности межфазной границы олова с висмутом и ϵ -фазой S_{Sn} измерены методом случайных секущих. Проведено определение V_{Sn} и S_{Sn} сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$ в слоях фольги, параллельных ее поверхности. Толщины и длины слоев равны 3 и 27 мкм соответственно, а само изображение поперечного сечения фольги получено через 1 сутки после ее изготовления. Графики зависимостей $V_{\text{Sn}}(x)$ и $S_{\text{Sn}}(x)$ от расстояния слоев x до поверхности фольги A представлены на рисунке 2.

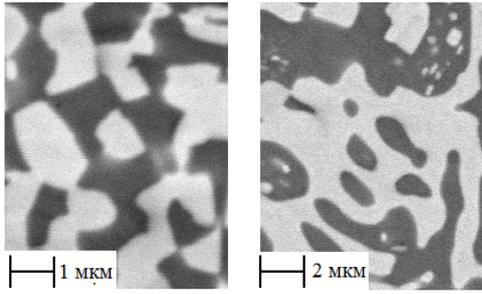


Рисунок 1. Микроструктура быстрозатвердевшей фольги (а) и массивного образца (б) сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$

В пределах погрешностей измерения данные параметры остаются постоянными по мере увеличения x , т.е. по мере перемещения фронта кристаллизации от поверхности A к поверхности B сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$, что указывает на однородное распределение фаз в быстрозатвердевшем сплаве.

Образование такой структуры обусловлено тем, что сверхвысокие скорости охлаждения жидкой фазы приводят к ее значительному переохлаждению. Переохлажденный расплав является пересыщенным жидким раствором [4]. Известно [5], что в расплавах в области температур, близких к эвтектическим, образуются кластеры со структурой, близкой к структуре кристаллических фаз, существующих в данной системе. Кластеры при температурах ниже эвтектической растут со временем, а затем кристаллизуются. Так как процесс образования кластеров происходит случайно во всем объеме переохлажденного и пересыщенного жидкого раствора случайно, это и обуславливает однородность распределения кристаллических фаз в быстрозатвердевшем сплаве. Однородность распределения фаз в фольгах имеет важное практическое значение, например, при изготовлении припоев [1], а также элементов различных технических устройств.

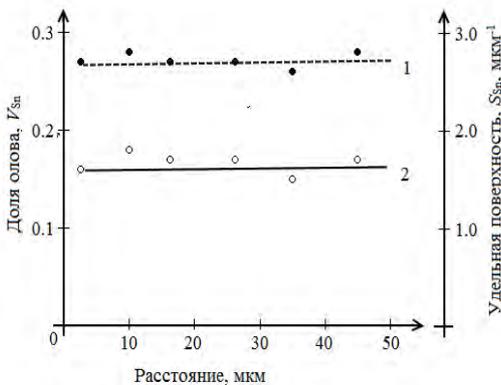


Рисунок 2. Зависимости V_{Sn} (1) и S_{Sn} (2) от расстояния до поверхности A быстрозатвердевшей фольги сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$

Таблица 1. Значения полюсных плотностей дифракционных линий фаз, входящих в состав быстрозатвердевших фольг сплавов $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$

Фаза	Дифракционные линии	Концентрация свинца, мас. %		
		2	4	8
Bi	$10\bar{1}\bar{2}$	4,5	4,9	5,8
	$10\bar{1}\bar{4}$	0,3	0,7	0,3
	$11\bar{2}\bar{2}$	0,1	0,5	0,3
	$20\bar{2}\bar{0}$	0,2	0,3	0,2
	$20\bar{2}\bar{2}$	0,2	0,3	0,5
	$21\bar{3}\bar{0}$	0,4	0,5	0,3
	$21\bar{3}\bar{2}$	0,1	0,2	0,3
Sn	0009	0,1	0,6	0,3
	200	5,3	4,6	5,4
	101	0,3	0,4	0,1
	220	0,2	0,3	0,2
	211	0,1	0,4	0,1
	301	0,1	0,2	0,2
ε-фаза	112	0,0	0,1	0,0
	$10\bar{1}\bar{0}$	3,5	3,2	3,7
	0002	1,4	0,8	0,4
	$10\bar{1}\bar{1}$	0,4	0,8	0,4
	$10\bar{1}\bar{2}$	0,2	0,3	0,1
	$11\bar{2}\bar{0}$	0,3	0,1	0,1
	2021	0,3	0,3	0,5

Фазы сплавов $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$ обладают анизотропией физических свойств. Поэтому физические свойства фольг исследуемых сплавов зависят от кристаллографической ориентации зерен. Исследование текстуры фольг проведено через 1 сутки после их изготовления. Полюсные плотности дифракционных линий фаз, входящих в состав сплавов, представлены в таблице 1. Максимальными значениями полюсных плотностей принадлежат дифракционным линиям $10\bar{1}\bar{2}$ висмута, 200 олова и $10\bar{1}\bar{0}$ ε-фазы. Таким образом, в быстрозатвердевших фольгах сплавов формируются текстуры $(10\bar{1}\bar{2})$ висмута, (100) олова и $(10\bar{1}\bar{0})$ ε-фазы. Формирование текстуры $(10\bar{1}\bar{2})$ в висмуте обусловлено ориентацией ковалентных сил связей по отношению направления теплового потока. Формирование текстуры (100) наблюдалось ранее в фольгах чистого олова и его сплавах. Ее образование вызвано преимущественным ростом зерен, у которых наиболее плотноупакованные плоскости располагаются перпендикулярно теплому потоку [3].

Время выдержки при комнатной температуре и концентрация свинца в исследуемых сплавах влияет на параметры микроструктуры фольг. Увеличение времени выдержки вызывает укруп-

нение выделений фаз. Определены зависимости, d_{Sn} и S_{Sn} от концентрации свинца. С увеличением концентрации свинца объемная доля олова V_{Sn} и средняя длина хорд на сечениях олова d_{Sn} возрастают, а удельная поверхности межфазной границы олова с другими фазами S_{Sn} убывает.

1. Петрунин Е.И. Справочник по пайке. М: Машиностроение, 2003. – 480 с.

2. Глазков А.А., Саксаганский Г.А. Вакуум электрофизических установок и комплексов. М: Энергоатомиздат. 1985. –184 с.
3. Шепелевич В.Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы. Минск: БГУ, 2015. – 192 с.
4. Таран Ю.М., Мазур В.Н. Структура эвтектических сплавов. М: Металлургия, 1978. – 216 с.
5. Баум Б.А. Металлические жидкости. М: Наука, 1979. –120с

УДК 621.81

КИНЕМАТИКА ШАРИКА ПРИ КОНТРОЛЕ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Щетникович К.Г., Бодяк Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Контроль геометрических параметров шариков в подшипниковой промышленности осуществляется на приборах с ручным перемещением шарика на измерительной позиции и механическим вращением от приводного устройства [1]. В приборах модели 262М (рисунок 1) контролируемый шарик 1 базируется на трех точечных упорах: нижнем 2, боковом 3 и заднем 4.

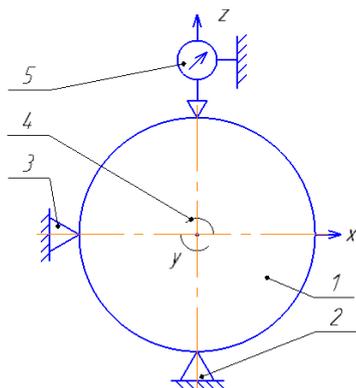


Рисунок 1 – Схема прибора модели 262М

На вертикальной оси нижнего упора расположен микрометр 5, наконечник которого касается шарика. Измерение диаметра производится в разных сечениях шарика при вращении его вручную относительно двух взаимно перпендикулярных осей x и y . Равномерность расположения точек контроля на сферической поверхности и усилие прижима шарика к упорам определяется квалификацией контролера.

В автоматизированных приборах шарик на измерительной позиции вращается вокруг горизонтальной и вертикальной осей под действием

ведущего обрезиненного валика, совершающего вращательное и поступательное движение. Однако, привод вращения шарика не позволяет получить его закономерное движение, которое давало бы возможность ощупывать измерительным наконечником сферическую поверхность с заданным смещением следов контакта. Необходимая кинематика шарика может быть достигнута при управляемом движении ведущего валика, согласованного с диаметром контролируемого шарика.

Наиболее просто равномерное нанесение следов контакта от измерительного наконечника достигается при дискретном вращении шарика вокруг оси x и z (рисунок 2). Вначале контролируемый шарик 1 совершает поворот на 360° вокруг оси x (рисунок 2, а). Приводной валик 2 должен при этом повернуться на угол φ , определяемый соотношением:

$$\varphi = \frac{2\pi D}{d(1 - \varepsilon)},$$

где D – диаметр шарика, d – диаметр валика, ε – коэффициент проскальзывания валика по шарика.

После прекращения вращения шарика вокруг оси x он поворачивается вокруг оси z на заданный центральный угол α (рисунок 2, б). Приводной валик должен при этом переместиться вдоль горизонтальной оси на расстояние l , несколько превышающее длину дуги AB :

$$l = \frac{D\alpha}{2(1 - \varepsilon)}.$$