

**Выводы.** При сверхбыстром затвердевании сплавов системы алюминий-висмут формируется микрокристаллическая структура с размером выделений второй фазы от 0,1 до 0,2 мкм. На размеры выделений висмута оказывает влияние не только его концентрация, но также температура расплава, которая обуславливает степень перегрева.

#### Литература

1. Мондольфо, Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л. Ф. Мондольфо. — М. : Metallurgia, 1979, 640 с.

УДК 548.735:669.6

### ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА И ТЕКСТУРА ФОЛЬГ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ОЛОВА

О.В. Гусакова, В.Г. Шепелевич

*Белорусский государственный университет, Минск*

**Введение.** В настоящее время олово является основой или входит в состав большинства припоев. Оно обладает рядом уникальных свойств, таких как низкая температура плавления, экологическая безвредность, высокая текучесть и др. В связи с прекращением использования припоев, содержащих свинец, в последние годы резко возросло число работ, посвященных исследованию материалов, способных эффективно заменить свинцовые припой. В настоящее время очевидно, что достойной заменой могут служить припой на основе олова. Особый практический интерес представляют собой сплавы Sn с Ag, Zn, Bi, Cd, в том числе полученные методом высокоскоростного затвердевания расплава [1 – 3]. Образующиеся при этом материалы являются поликристаллами. Очевидно, что их механические свойства теснейшим образом связаны с характеристиками зерен [4]. В связи с этим данная работа посвящена исследованию зеренной структуры и текстуры быстрозатвердевших фольг олова и сплавов систем Sn-Bi, Sn-Zn, Sn-Cd.

**Методика эксперимента.** Быстрозатвердевшие фольги олова и его сплавов получались при кристаллизации расплава на внутренней полированной поверхности вращающегося медного цилиндра. Средняя скорость охлаждения расплава порядка  $10^5$  К/с. Фазовый состав фольг определялся с

помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН -3. При изучении текстуры методом «обратных» полюсных фигур использовали дифракционные линии 200, 101, 220, 211, 301 и 112 олова. Полюсные плотности дифракционных линий рассчитывались по методу Харриса [5]. Образцы были отполированы с помощью полировочной машины TEGROPOL по методике фирмы «STRUERS». Травление проводилось в 3 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в течение 60 – 70 секунд. Зеренная структура и микроструктура изучалась с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO 1455VP фирмы «Карл Цейсс». Отжиг образцов проводился при различных температурах, от 85 °С до 180 °С, в течение одного часа.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Фольги олова являлись поликристаллами, средний размер зерна которых составлял 20 мкм. В связи с анизотропностью структуры и свойств олова большое внимание уделяется исследованию текстуры фольг Sn. Установлено, что у стороны, прилегающей к кристаллизатору, фольги олова имеют одинаковую ярко выраженную текстуру типа (100) (таблица).

Таблица

Полюсные плотности дифракционных линий фольг олова и его сплавов

Материал	Дифракционные линии					
	200	101	220	211	301	112
Sn	5,4	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0
Sn-1 at. % Bi	5,2	0,2	0,5	0,1	0,0	0,0
Sn-2 at. % Bi	5,1	0,3	0,5	0,1	0,0	0,0
Sn-4 at. % Bi	5,6	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0
Sn-6 at. % Bi	5,6	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
Sn-8 at. % Bi	5,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Sn-2,5 at. % Zn	4,1	1,0	0,2	0,2	0,1	0,4
Sn-5 at. % Zn	5,1	0,6	0,1	0,2	0,2	0,0
Sn-7,5 at. % Zn	5,4	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
Sn-0,6 at. % Cd	5,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Sn-1,3 at. % Cd	2,5	1,0	0,7	0,6	0,4	0,8
Sn-2,5 at. % Cd	3,5	1,6	0,2	0,2	0,3	0,2
Sn-4 at. % Cd	2,3	1,4	0,4	0,6	0,7	0,6
Sn-8 at. % Cd	2,3	0,9	0,6	0,8	1,0	0,5
Sn-1 at. % Pb	5,5	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
Sn-2 at. % Pb	3,0	0,5	1,8	0,3	0,2	0,2
Sn-4 at. % Pb	2,6	0,5	2,1	0,5	0,1	0,2
Sn-5 at. % Pb	2,9	0,6	1,3	0,4	0,3	0,5
Sn-8 at. % Pb	2,6	1,6	0,3	0,5	0,2	0,8

Это может быть объяснено следующим образом. Кристаллическая решетка олова является тетрагональной с отношением параметров элементарной ячейки  $a/c = 1,83$ . Межплоскостное расстояние  $d_{100}$  в олове является наибольшим, что и определяет рост зерен, у которых плоскость (100) перпендикулярна к направлению теплоотвода при сверхбыстрой закалке из жидкой фазы.

Проведены исследования зеренной структуры фольг различного состава. Для сплавов систем Sn-Zn и Sn-Bi наблюдается уменьшение размера зерна с увеличением концентрации висмута и цинка (рис.1).



Рис. 1. Микрофотографии зеренной структуры быстрозатвердевших фольг чистого олова и олова, легированного висмутом

При добавлении около 10 ат. % легирующего элемента средний размер зерна уменьшается в 5 раз. Измельчение зерна может быть связано с тем, что наличие примеси уменьшает критический размер зародыша и увеличивает скорость зародышеобразования. Для всех систем не наблюдается никаких изменений текстуры с ростом концентрации примеси.

Также было исследовано влияние отжига на зеренную структуру сплавов на основе олова. Обнаружено, что при изотермическом отжиге для сплавов, содержащих небольшое количество легирующего элемента, наблюдается понижение значения полюсной плотности линии 200.

Это указывает на протекание рекристаллизационных процессов. Исследования зеренной структуры фольг Sn-2,5 ат. % Zn при изотермическом отжиге показали, что размер зерна увеличивается со временем отжига. Зависимость среднего диаметра зерна от времени отжига может быть аппроксимирована следующей формулой:  $D = Bt^{0,3}$ .

Зависимость среднего размера зерна от времени отжига в логарифмическом масштабе представлена на рис. 2. Показатель степени отличается от теоретически рассчитанного 0,5 [5]. Данное отклонение может быть

объяснено уменьшением скорости перемещения межзеренной границы обусловленным наличием легирующего элемента, как растворенного, так и в виде включений. Также на размер зерна влияет текстурированность, которая приводит к уменьшению поверхностной энергии границ и к понижению скорости роста зерна [6].

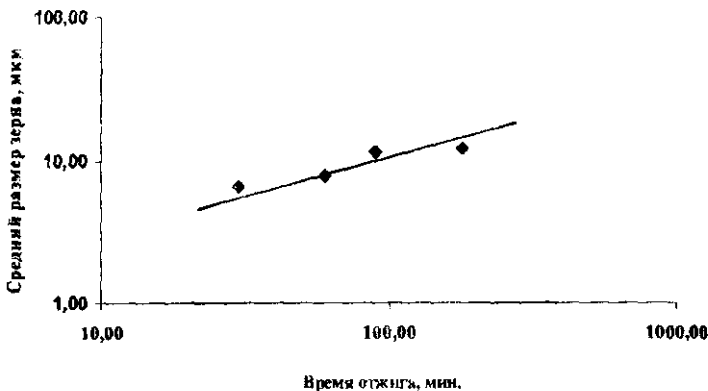


Рис. 2. Зависимость среднего размера зерна от времени отжига

Отсутствие существенных изменений текстуры при отжиге для сплавов с большей концентрацией легирующего элемента может быть связано с тем, что выделения второй фазы тормозят процессы рекристаллизации.

#### Литература

1. Ochoa, F. Effect of cooling rate on the microstructure and mechanical behavior Sn-3,5 Ag solder / F Ochoa, J.J. Williams, N. Chawla // JOM, 2003. – Vol. 55, Number 6, 1- June. – P. 56 – 60.
2. Islam, R.A. Investigations on microhardness of Sn-Zn based lead-free solder alloys as replacement of Sn-Pb solder / R. A Islam, B. Y. Wu, M. O. Alam // Journals of Alloys and Compounds. – Vol. 392. – P 149 – 158.
3. Влияние структурного состояния припоя на физико-механические свойства паяных соединений / Б.Ф.Калин [и др.] // Сварочное производство, 2001. – № 8. – С. 38 – 41.
4. Бернштейн, М. Л. Механические свойства металлов / М. Л. Бернштейн, В. А. Зинковский. – М. : Металлургия, 1979. – 495 с.
5. Лившиц, Б. Г. Металлография / Б. Г. Лившиц. – М. : Металлургия, 1971. – 405 с.
6. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1978. – 392 с.

## ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ НИКЕЛЯ И МЕДИ

В.М. Анищик

*Белорусский государственный университет, Минск;*  
Н.Г. Валько, В.В. Война, А.С. Воронцов, Н.И. Мороз  
*Гродненский государственный университет, Гродно*

**Введение.** Изменение характеристик поверхностных слоев металлических изделий приобретает все большую актуальность. Растущие требования к надежности оборудования и необходимость защиты деталей от агрессивных сред приводят к все возрастающему интересу специалистов к модификации поверхности гальванизацией при слабоэнергетическом воздействии, в том числе при воздействии рентгеновского излучения [1 – 2]. Это обусловлено тем, что облучение электролита вызывает значительные изменения физических и механических свойств покрытий, которые в свою очередь придают уникальные свойства изделиям, обработанные таким способом. Ранее было показано, что медная пленка, полученная при воздействии рентгеновского излучения, обладает более высокими механическими свойствами, что связано с уменьшением размера зерен основной фазы [2]. Поскольку модифицированные свойства материалов определяются параметрами облучения и осаждения, то основной задачей настоящей работы было выявление особенностей и кинетических закономерностей электрокристаллизации никеля и меди под облучением.

**Методы исследований.** Медные покрытия осаждались из сернокислого электролита без добавок на индифферентные подложки из нержавеющей стали. Никель осаждался из сульфатного электролита на подложки из алюминия, которые также являются индифферентными для никеля. Все образцы получали в течение 1 ч при плотностях тока 1, 2, 3 А/дм<sup>2</sup>. Источником излучения служила рентгеновская установка при напряжении на трубке 50 кВ и токе 15 мА, с анодами – Мо ( $\lambda=0,070$  нм), Cu ( $\lambda=0,154$  нм), Fe ( $\lambda=0,194$  нм). Скорость наращивания покрытий определялась посредством измерения их толщин. Погрешность измерения не превышала 1 %.

**Результаты и обсуждение.** Измерение толщины медных и никелевых покрытий, полученных при различных режимах осаждения в поле излучения, показало, что при плотностях тока, не превышающих значение  $j=1$  А/дм<sup>2</sup>, толщина покрытий тем меньше, чем меньше длина волны действующего на электролит излучения. Однако из зависимостей, представ-