

Компьютерный анализ этой модели показал, что в данном случае уравнение для нахождения t_j будет также иметь один положительный корень.

Приведенные ниже графики показывают зависимость абсолютной величины давления P от времени t источника звука, находящегося на расстоянии 100 м от наблюдателя при $t=2, \dots, 8$ при различных начальных скоростях v (ускорение $a = 1 \text{ м/с}^2$) движения источника звука.

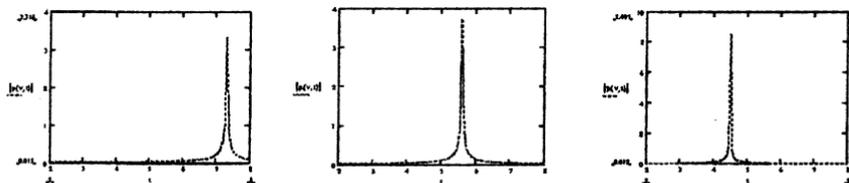


Рис. 2

Пик давления достигается при $t=7,3$ ($v=10 \text{ м/с}$), $t=5,6$ ($v=15 \text{ м/с}$), $t=4,5 \text{ с}$ ($v=20 \text{ м/с}$).

Из рис. 2 видно, что при увеличении скорости движения источника звуковых колебаний пиковая величина давления возрастает, что, в общем, согласуется с бытовыми представлениями.

Графики получены с использованием программы MathCAD 2001 для персонального компьютера (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Осташев В.Е. Распространение звука в движущихся средах. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. — 205 с.
2. Кирьянов Д.В. Самоучитель MathCAD 2001. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 544 с.

УДК 669.04:548.735

О.Н.Шахрай, В.Г.Шепелевич

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ СВИНЕЦ-ОЛОВО

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

При изготовлении приборов электронной техники широко применяется пайка легкоплавкими припоями. Высокая пластичность свинца в широком интервале тем-

ператур (-200 °С + 250 °С), относительно высокая температура плавления (327,4 °С), низкая стоимость и некоторые другие характеристики делают его перспективным материалом для создания на его основе припоев. В припоях, полученных методом сверхбыстрой закалки из расплава, удастся получить не только мелкодисперсную структуру, но и сделать ее более однородной по сравнению с массивными образцами. Наибольшую часть из всех применяемых мягких припоев составляют припой системы свинец-олово. В связи с этим проведены исследования структуры и свойств быстрозатвердевших фольг свинца и его сплавов с оловом.

Быстрозатвердевшие фольги системы свинец-олово получены при затвердевании капли расплава, инжигированной на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Толщина используемых фольг составляла 30...80 мкм. Сторона фольги, контактирующая с кристаллизатором, имела зеркальный вид, а противоположная сторона, имеющая контакт с атмосферой, была бугристой. Средняя скорость охлаждения, согласно расчетам [1], составляет 10^6 К/с. Для выявления специфики фольг получены литые массивные образцы того же состава. Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-2 в медном излучении. Текстура фольг исследована методом обратных полюсных фигур, полюсная плотность P_{hk} дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитана по методу Харриса [2]. Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3. Относительная ошибка измерения микротвердости составляет 4 %.

Быстрозатвердевшие фольги свинца имеют микрокристаллическую структуру. В массивном образце чистого свинца размер зерна достигает 80 мкм, а в фольге не превышает десяти микрон. При этом легирование свинца оловом приводит к измельчению зеренной структуры.

Таблица 1

Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг системы свинец-олово

Материал	Дифракционная линия					
	111	200	220	311	331	420
Pb	4,4	0,9	0,1	0,3	0,1	0,2
Pb-2 ат.% Sn	5,7	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
Pb-5 ат.% Sn	5,2	0,4	0,1	0,3	0,0	0,0
Pb-10 ат.% Sn	5,0	0,6	0,1	0,3	0,0	0,0
Pb-20 ат.% Sn	5,6	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0

В табл. 1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий быстрозатвердевших фольг системы свинец-олово. Наибольшим значением полюсной плотности характеризуется дифракционная линия 111. На долю данной ориентировки приходится 75-90 % объема фольги. Легирование свинца оловом способствует усилению текстуры (111).

Известно [2], что в массивных слитках свинца и его сплавах, получаемых традиционными методами, формируется текстура (100). Однако в фольге чистого свинца, полученной в сильно неравновесных условиях, наблюдается текстура (111). Из плоскостей {111} и {100} наиболее плотноупакованными являются плоскости {111}, а наименьшей поверхностной энергией характеризуются плоскости {100}. Поэтому при условиях кристаллизации, близких к равновесным, энергетически выгодным является формирование текстуры (100). При затвердевании в сильно неравновесных условиях текстура определяется теми зернами, у которых при плоском фронте кристаллизации межфазная граница "кристалл-жидкость" совпадает с плоскостью, перемещающейся с наибольшей скоростью. Согласно выполненным расчетам [3], энергетический барьер перемещения межфазной границы, совпадающей с плоскостями {111} меньше, чем для межфазной границы, совпадающей с плоскостями {100}. Вследствие этого при быстром затвердевании предпочтительней растут те зерна, у которых плоскости {111} перпендикулярны направлению теплоотвода, формируя тем самым текстуру (111) в быстрозатвердевших фольгах свинца и его сплавах с оловом.

В табл. 2 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий быстрозатвердевшей фольги Pb-1 ат. % Sn, а также их изменение при отжиге. Отжиг фольг в течение 1 и 5 часов при температуре 250 °C вызывает перераспределение полюсных плотностей дифракционных линий. Так, полюсная плотность дифракционной линии 111 уменьшается, полюсные плотности остальных дифракционных ли-

Таблица 2

Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг Pb-1% Sn, отожженных при температуре 250 °C

Состояние фольги	Дифракционная линия					
	111	200	220	311	331	420
исходные	5,4	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0
отжиг 1 ч.	5,0	0,7	0,1	0,2	0,0	0,0
отжиг 5 ч.	4,8	0,7	0,1	0,3	0,1	0,0

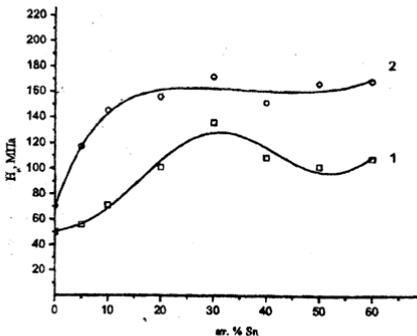


Рис. 1. Зависимость микротвердости быстрозатвердевших фольг (1) и массивных образцов (2) системы свинец-олово от концентрации олова

твёрдости массивных образцов и фольг. При этом микротвердость фольг меньше микротвердости массивных сплавов того же состава.

Меньшее значение микротвердости фольг, чем массивных образцов, объясняется уменьшением среднего размера зерна. Известно [4], что в металлах границы зерен при температурах $T \approx 0,5 T_m$ и выше (T_m — температура плавления по шкале Кельвина) являются разупрочненными зонами, возможно зернограничное проскальзывание. Благодаря этому фольги более пластичны, чем массивные образцы.

Быстрозатвердевшие фольги свинца и его сплавов с оловом находятся в неустойчивом состоянии. Так, отжиг фольг свинца при температуре 240 °C в течение 1 часа

приводит к увеличению среднего размера зерна до 12 мкм. Таким образом, при отжиге происходят процессы рекристаллизации.

Изменение структуры фольг при отжиге вызывает изменение микротвердости. Результаты проведения изохронного отжига представлены на рис. 2.

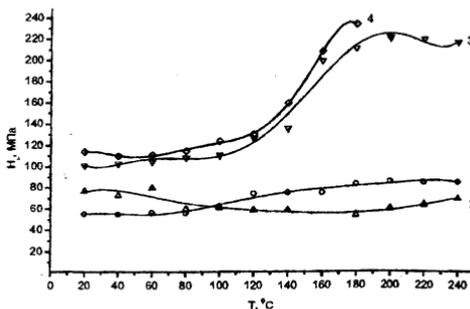


Рис. 2. Изохронный отжиг быстрозатвердевших фольг Pb (1), Pb-10 ат. % Sn (2), Pb-20 ат. % Sn (3), Pb-30 ат. % Sn (4)

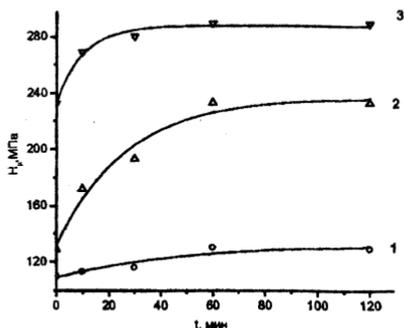


Рис.3. Изотермический отжиг фольг Pb-20 % ат. Sn при температуре 100 °С (1), 140 °С (2), 200 °С (3)

На рис.3 представлены результаты проведения изотермического отжига фольг Pb-20 % ат. Sn при температурах 100 °С, 140 °С и 200 °С. При переходе к более высокой температуре отжига увеличивается значение микротвердости.

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги свинца и его сплавов с оловом имеют микрокристаллическую структуру и текстуру (111). Микротвердость фольг меньше микротвердости массивных сплавов того же состава. Отжиг приводит к изменению структуры и микротвердости фольг, ослаблению текстуры (111).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
2. Вассерман Г., Гривен Г. Текстуры металлических материалов. – М.: Металлургия, 1969. – 654с.
3. Li D.Y., Szpunar J.A. A possible role for surface packing density information of (111) texture in solidified metals. J. Mater. Sci. Let. – 1994. V.13, №21. – P.1521-1523.
4. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1972. – 408с.