

УДК 669.04:548

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ СВИНЕЦ-СУРЬМА

В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ, О.Н. ШАХРАЙ
(Белорусский государственный университет, Минск)

Представлены результаты исследования структуры и свойств быстрозатвердевших фольг сплавов системы свинец-сурьма. Быстрозатвердевшие фольги свинца и его сплавов с сурьмой имеют микрокристаллическую структуру и текстуру (111). Микротвердость фольг меньше микротвердости массивных образцов того же состава, за исключением интервала концентраций сурьмы от 17 до 23 ат. %. Отжиг приводит к изменению структуры и микротвердости фольг, ослаблению текстуры (111).

Свинец обладает рядом ценнейших свойств, обеспечивающих применение его в самых различных областях промышленности, в первую очередь в машиностроении, электронике и электротехнике. Известно, что чистый свинец очень мягок, его твердость зависит от способа охлаждения и присутствия примесей. Примеси очень сильно изменяют механические и физико-химические свойства (прочность, твердость, сопротивление ползучести) при сохранении высокой стойкости против коррозии. Широкое применение получили сплавы на основе свинца, в частности припой. Технологические характеристики припоев зависят от дисперсности структуры, распределения компонентов, пластических свойств, прочности. В настоящее время разработано новое направление в получении припоев с благоприятным сочетанием различных свойств - сверхбыстрая закалка из расплава. Методом сверхбыстрой закалки из расплава в припой удастся получить не только мелкодисперсную структуру, но и сделать ее более однородной. В связи с этим проведены исследования структуры и свойств быстрозатвердевших фольг свинца и его сплавов с сурьмой.

Быстрозатвердевшие фольги сплавов системы свинец-сурьма получены при затвердевании капли расплава, инжесктивированной 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 ρ^{\wedge} дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитана по методу Харриса [2]. Значения микродеформаций и размеров блоков определены методом аппроксимаций по физическому уширению дифракционных линий 222 и 333. Микротвердость измерена на приборе ПМТ-3. Относительная ошибка измерения микротвердости составляет 4 %.

Быстрозатвердевшие фольги свинца имеют микрокристаллическую структуру. Если в массивном образце чистого свинца размер зерна достигает 80 мкм, то в фольге не превышает десяти микрон. При этом легирование свинца сурьмой приводит к уменьшению среднего размера зерна.

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

Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг сплавов системы свинец-сурьма

Материал	Дифракционная линия					
	111	200	220	311	331	420
Pb	4,4	0,9	0,1	0,3	0,1	0,2
Pb-5 ат. % Sb	5,6	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0
Pb-10 ат. % Sb	5,4	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0
Pb-15 ат. % Sb	4,9	0,7	0,1	0,3	0,0	0,0
Pb-20 ат. % Sb	5,0	0,8	0,1	0,1	0,0	0,0

Известно [2], что в массивных слитках свинца и его сплавах, получаемых традиционными методами, формируется текстура (100). Однако в пленках чистого свинца, полученных в сильнонеравновесных

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 сильнонеравновесных условиях текстура определяется теми зёрнами, 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 зёрна, у которых плоскости $\{111\}$ перпендикулярны направлению теплоотвода, формируя тем самым текстуру (111) в быстрозатвердевших фольгах свинца и его сплавах с сурьмой.

Исследована зависимость физического уширения (β дифракционных линий фольг сплавов системы свинец-сурьма от концентрации сурьмы (рис. 1). Наибольшим значением физического уширения дифракционной линии 333 характеризуется фольга Рь-10 ат. % Sb. Физическое уширение дифракционных линий зависит прежде всего от размеров блоков и микродеформаций. В работе [4] установлено, что размеры блоков в быстрозатвердевших материалах составляют несколько десятых долей микрона и вклад блочной структуры в физическое уширение дифракционных линий незначителен. Кроме того, на дифрактограмме фольги Рь-10 ат. % Sb обнаружено присутствие дифракционных линий, принадлежащих сурьме, мелкодисперсные частицы которой вызывают микронапряжения второго рода. Поэтому физическое уширение дифракционных линий целесообразно связать с микродеформациями твердого раствора на основе свинца. Как показал расчет [5], их величина составляет $(3...4)10^{-4}$:

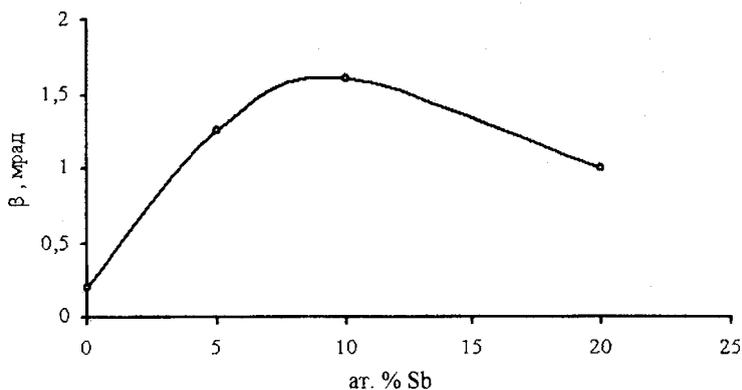


Рис. 1. Зависимость физического уширения дифракционных линий 333 фольг сплавов системы свинец-сурьма от концентрации сурьмы

Измерения микротвердости проводились как для массивных образцов, так и для фольг системы свинец-сурьма. Микротвердость исследуемых сплавов зависит от концентрации сурьмы (рис. 2), при этом микротвердость фольг меньше микротвердости массивных сплавов того же состава, за исключением интервала концентраций сурьмы от 17 до 23 ат. %.

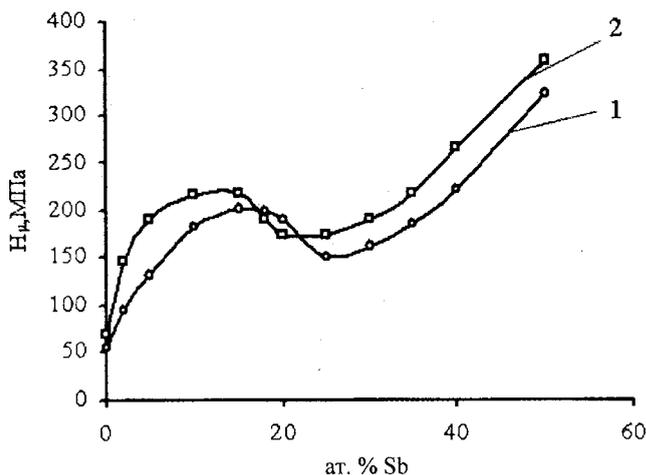


Рис. 2. Зависимость микротвердости быстрозатвердевших фольг (1) и массивных образцов (2) системы свинец-сурьма от концентрации сурьмы

Меньшее значение микротвердости фольг чистого свинца, чем массивных образцов, объясняется уменьшением среднего размера зерна. Известно [6], что в металлах границы зерен при температурах $T = 0,5 T_m$ и выше (T_m - температура плавления по шкале Кельвина) являются разупрочненными зонами, возможно зернограницное проскальзывание. Благодаря этому фольги свинца более пластичны, чем массивные образцы.

В пределах до 15 ат. % Sb наблюдается увеличение микротвердости как для фольг (в 3,4 раза), так и для массивных образцов (в 3,1 раза), что целесообразно связать с образованием твердого раствора на основе свинца и мелкодисперсных частиц второй фазы (твердого раствора на основе сурьмы). Данное увеличение микротвердости согласуется с наблюдаемым увеличением величины физического уширения в этом интервале концентраций сурьмы в свинце. Так как физическое уширение дифракционных линий обусловлено микродеформацией твердого раствора на основе свинца, то возникающие при этом микронапряжения второго рода обуславливают увеличение его прочностных характеристик, в том числе и микротвердости [7].

Известно [8], что состав эвтектического сплава Pb-18 ат. % Sb. В связи с тем, что быстрозатвердевшие фольги получены в неравновесных условиях, эвтектические значения концентраций могут сдвигаться [9]. Можно предположить, что для фольг квазиэвтектика формируется при 25 ат. % Sb, что соответствует минимуму микротвердости. Массивные образцы получены при условиях кристаллизации, близких к равновесным, вследствие чего эвтектические значения концентраций сурьмы не изменяются.

При концентрации сурьмы, равной 25 ат. % и выше, микротвердость всех исследуемых сплавов возрастает. В этом интервале концентраций первичной фазой является сурьма, которая имеет более высокое значение микротвердости, что и обуславливает рост H_u .

Быстрозатвердевшие фольги свинца и его сплавов с сурьмой 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. 3.

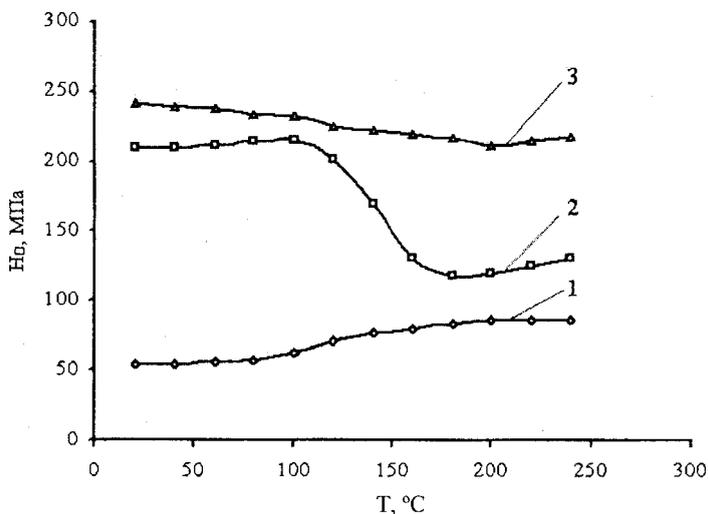


Рис. 3. Изохронный отжиг быстрозатвердевших фольг Pb (1); Pb-10 ат. % Sb (2); Pb-40 ат. % Sb (3)

В фольгах чистого свинца наблюдается увеличение микротвердости, что целесообразно связать с протеканием рекристаллизационных процессов, вызывающих рост среднего размера зерен и уменьшение площади межзеренных границ. В фольгах Pb-5 ат. % Sb и Pb-10 ат. % Sb при нагреве выше 120 °C происходит уменьшение микротвердости. Данные фольги характеризуются большими значениями микронапряжений, которые исчезают при отжиге. В фольгах составов Pb-35 ат. % Sb и Pb-40 ат. % Sb обнаружено незначительное уменьшение микротвердости, которое можно связать с распадом пересыщенного твердого раствора на основе сурьмы.

На рис. 4 представлены результаты проведения изотермического отжига фольги Pb-10 ат. % Sb сначала при температуре 130 °C, затем при температуре 220 °C. При переходе к более высокой температуре отжига происходит уменьшение микротвердости, что подтверждают результаты, наблюдаемые при изохронном отжиге.

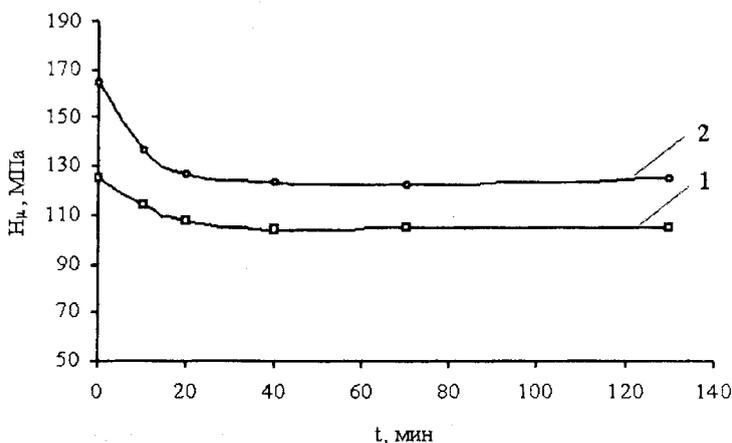


Рис. 4. Изотермический отжиг быстрозатвердевших фольг Pb-10 ат. % Sb при температуре 130°C (1) и 220 °C (2)

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги свинца и его сплавов с сурьмой имеют микрокристаллическую структуру и текстуру (111). Микротвердость фольг сплавов системы свинец-сурьма определяется концентрацией легирующего элемента и зерненной структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. - М.: Metallurgy, 1982. - 168 с.
2. Вассерман Г., Гривен И. Текстуры металлических материалов. - М.: Metallurgy, 1969. - 654 с.
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. Глазов В.М., Ятманов Ю.В. Оценка развития областей когерентного рассеяния и величины микродеформаций в сплавах $Bi_{x-1}Te_x$, закаленных из жидкой фазы // Изв. АН СССР. Сер. Неорган. материалы. - 1989. - Т. 25, № 9. - С. 1462 - 1467.
5. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. - 232 с.
6. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. - М.: Мир, 1972. - 408 с.
7. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Metallurgy, 1978. - 392 с.
8. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. - М.: Metallurgizdat, 1962. Т. 1. - 609 с.
9. Таран Ю. М., Мазур В. И. Структура эвтектических сплавов. - М.: Metallurgy, 1978. - 312 с.