

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА  
И ПОЛУПРОВОДНИКОВ НАН БЕЛАРУСИ

БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

***ФТТ-2005***

***АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА***

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

**Международной научной конференции**

**26—28 октября 2005 г., Минск**

**В двух томах**

**Том 2**

Минск  
Издательский центр БГУ  
2005

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ СВИНЕЦ–МАГНИЙ

Белая О.Н., Шепелевич В.Г., Ли Шуанбао  
Белорусский государственный университет

Высокая плотность, мягкость, легкая обрабатываемость, сравнительно малая проводимость, коррозионная устойчивость и способность реагировать с органическими веществами придают свинцу особую практическую ценность. Улучшение механических свойств свинца, в частности твердости, возможно путем рационального легирования, при введении легирующих добавок происходят структурные изменения, которые определяют его физико-механические свойства. Однако повышение эксплуатационных свойств за счет легирования практически исчерпало себя, необходимы новые подходы к созданию материалов. Одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является использование сверхвысоких скоростей охлаждения расплава при затвердевании [1, 2]. Материалы, полученные методами высокоскоростного затвердевания расплава, обладают рядом свойств, которые обуславливают возможность их широкого применения в науке и технике. При этом разработка и использование методов прогнозирования свойств таких материалов и выявление влияния технологических параметров на их структуру и физические характеристики может существенно снизить затраты на разработку технологий получения новых материалов с заданными свойствами. В связи с этим представляется актуальным проведение исследований быстрозатвердевших фольг сплавов на основе свинца, в частности сплавов системы свинец–магний.

Фольги используемых материалов, содержащих 1,25; 2,5 и 5 ат. % Mg, получены при затвердевании капли расплава (~ 0,2 г), инжектированной на внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Толщина используемых фольг составляла 30...80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [3], была не менее  $10^6$  град/с. Наблюдение топографии фольг проводилось на растровом электронном микроскопе LEO 1445 VP. Для анализа распределения анализируемых элементов осуществлялось сканирование по заданной линии. Рентгеноструктурные исследования выполнялись на дифрактометре ДРОН-3М в медном излучении. Текстура фольги исследована методом обратных полюсных фигур, полюсная плотность  $p_{hkl}$  дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитана по методу Харриса [4]. При этом рентгеновское излучение падало либо на поверхность фольги, которая имела контакт с кристаллизатором (тип А), либо на противоположную сторону, контактирующую с атмосферой (тип Б). Измерения параметра элементарной ячейки кристаллической решетки  $a$  проведены по положению дифракционной линии 333, для этой же линии рассчитано физическое уширение. Относительная погрешность определения  $a$  около 0,01 %. Микротвердость измерялась с помощью прибора ПМТ-3. Относительная ошибка измерения микротвердости составляет 5 %.

Исследования морфологии поверхности быстрозатвердевших фольг системы Pb–Mg показали, что сторона фольги, прилегающая к кристаллизатору в процессе кристаллизации, характеризуется гладкой поверхностью, в то время как на стороне фольги, контактирующей с атмосферой, присутствуют бугорки, на которых в некоторых местах наблюдается ячеистая структура. Рентгеноспектральный микроанализ выявил однородность в распределении компонентов.

Результаты расчета параметра элементарной ячейки показали, что данная величина исследуемых фольг меньше, чем для фольг чистого свинца. Данное уменьшение связано с образованием при легировании магнием твердых растворов замещения.

Среди факторов, определяющих свойства материалов, большое значение имеет текстура. Наличие текстуры влияет на многие структурно-чувствительные свойства материалов: на прочность и твердость, анизотропию упругих, электрических, магнитных и других свойств. Распределение полюсных плотностей дифракционных отражений, принадлежащих твердому раствору на основе свинца, указывает на формирование текстуры (111) на стороне фольги типа А (табл. 1), на долю данной ориентировки приходится до 95 % объема фольги. Сторона фольги типа Б не характеризуется некоторой определенной ориентировкой зерен. Следует отметить, что текстура (111) характерна и для других сплавов на основе свинца, полученных СБЗР [5]. Однако в них четко выраженной текстурой характеризуются и сторона фольги типа А, и сторона фольги типа Б, хотя сторона фольги типа Б текстурирована в меньшей степени.

Таблица 1

Полюсные плотности дифракционных линий фольг сплавов системы Pb-Mg

Состав фольги	Температура и время отжига, °С/мин	Тип фольги и	Дифракционная линия					
			111	200	220	311	331	420
Pb-1.25 % Mg	исх.	А	5.6	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0
		Б	1.1	1.2	0.9	0.4	1.4	0.7
	120/60	А	5.4	0.3	0.1	0.2	0.0	0.0
		Б	1.0	1.2	0.7	1.6	0.6	0.9
	200/60	А	5.5	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0
		Б	1.2	1.4	0.8	1.5	0.4	0.7
Pb-2.5 % Mg	исх.	А	5.7	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
		Б	1.1	0.9	1.0	1.2	0.8	1.0
	120 60	А	5.6	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0
		Б	0.9	0.9	0.9	1.3	1.0	1.0
	200 60	А	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Б	1.3	1.1	0.9	1.1	0.8	0.8
Pb-5 % Mg	исх.	А	5.7	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	120 60	А	5.6	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0
	200 60	А	4.7	0.5	0.3	0.5	0.0	0.0

Тот факт, что в быстрозатвердевших свинцовых сплавах наблюдается текстура (111) является неожиданным, так как обычно текстура для литых сплавов с кубической решеткой должна быть (100). Из плоскостей {100} и {111} наиболее плотноупакованными являются плоскости {111}, а наименьшей поверхностной энергией характеризуются плоскости {100} [6]. При затвердевании в сильно неравновесных условиях текстура определяется зернами, у которых при плоском фронте кристаллизации межфазная граница "кристалл-жидкость" совпадает с плоскостями, перемещающимися с наибольшей скоростью. Такими плоскостями являются плоскости {111} [7]. Вследствие этого при быстром затвердевании предпочтительен рост тех зерен, у которых плоскости {111} перпендикулярны направлению теплоотвода, формируя тем самым текстуру (111) в фольгах сплавов на основе свинца.

В фольгах типа Б текстура (111) отсутствует. Это обусловлено тем, что в процессе кристаллизации слоев фольги, прилегающих к кристаллизатору, происходит выделение теплоты, которая уменьшает скорость охлаждения последующих слоев фольги. Изменение условий кристаллизации для последующих слоев фольги способствует росту зерен с другой ориентировкой, что вызывает уменьшение доли зерен с ориентировкой (111).

Микротвердость быстрозатвердевших фольг сплавов системы Pb–Mg превышает микротвердость фольг чистого свинца. Величина физического уширения при этом также увеличивается (рис. 1).

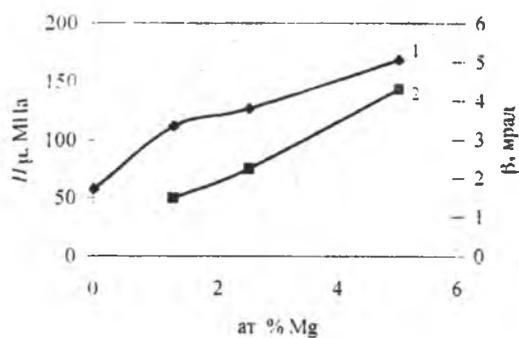


Рис.1. Зависимость микротвердости (1) и физического уширения (2) быстрозатвердевших фольг сплавов системы Pb–Mg от концентрации магния

Исследовано влияние отжига на структуру и свойства фольг сплавов системы Pb–Mg. Так, отжиг исследуемых фольг при температуре 120 °С в течение 1 ч приводит к выделению частиц второй фазы (рис. 2), а именно соединения  $Mg_2Pb$  по данным [8]. Отжиг в этом же температурном режиме приводит к увеличению параметра элементарной ячейки, что подтверждает протекание процесса распада пересыщенного твердого раствора. Перераспределение полюсных плотностей при различных температурных режимах (табл. 1) указывает на то, что в процессе отжига происходит разориентировка зерен и протекание процессов рекристаллизации. Перечисленные выше факторы объясняют увеличение величины микротвердости в процессе изохронного отжига.

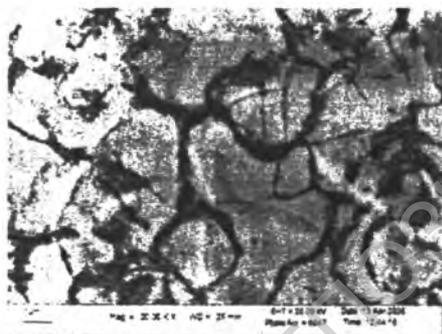


Рис. 2. Микроструктура быстрозатвердевших фольг Pb–5 Mg, отожженных при температуре 120 °С в течение 1 часа

#### Литература

1. Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технология и материалы). Васильев В.А., Митин Б.С., Пашков И.Н., Серов М.М., Скуридин А.А., Лукин А.А., Яковлев В.Б. / Под ред. Б.С. Митина. М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ». 1998. 400 с.
2. Mehrabian R. // *Int. Metals Reviews*. – 1982. – Vol. 27, № 4. – P. 185–208.
3. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М.: Металлургия. 1982. 168 с.
4. Вассерман Г., Гривен И. Текстуры металлических материалов. – М.: Металлургия, 1969. – 656 с.
5. Шахрай О.Н., Шепелевич В.Г. // *Весці НАН Беларусі, сер. фіз.-тэхн. навук*. 2004. № 3. С. 32–34.
6. Broughton J.Q., Abraham F.F. // *Chem. Phys. Lett*. 1980. Vol.71. P. 456–461.
7. Li D.Y., Szpunar J.A. // *J. of Mater. Sci. Lett*. 1994. Vol.13. P. 1521–1523.
8. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. – М.: Металургиздат, 1962, 1488 с.