

**Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский национальный технический университет**

**Наука — образованию,  
производству,  
экономике**

**Материалы международной  
научно-технической конференции**

**Том 1**

**Минск  
УП «Технопринт»  
2003**

серьгу винтом 10 прижимает ролик к внутренней поверхности перфорированного кольца. На оси 8 кроме рычага посажен нож 11 с лотком. Работающая на скручивание спиральная пружина 12 прижимает заднюю кромку ножа к поверхности перфорированного кольца. Под перфорированным кольцом установлена ванна 13 со стабилизирующей поверхностью гранул жидкостью. Для поддержания повышенной температуры на патрубков бункера 5 установлен тelloнагреватель 14. Настройка гранулятора на получение гранул диаметром  $d_p$ , высотой  $h_p$  осуществляется установкой шибера бункера, обеспечивающего высоту  $h_p$  слоя материала, поступаемого или наносимого на вращающийся ролик. Из условия постоянства массы  $h_p = k \cdot n_z \cdot \pi \cdot d_z^2 \cdot h_z / 4B$ , где  $B$  — ширина ролика;  $n_z$  — число отверстий в кольце;  $k$  — коэффициент, учитывающий уплотнение материала при гранулировании.

Ролико-кольцевой гранулятор RT11 изготовлен УП «Завод политехник» БНТУ и находится в эксплуатации на РУП «Белдор НИИ».

#### Литература

1. Мурадов Г.С., Шомин И.П. Получение гранулированных удобрений прессованием. — М.: Химия, 1985. — 209 с.
2. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов/ Ю.Г. Шукин, Б.Н. Кутузов, Б.В. Мацоевич, Ю.А. Татишев. — М.: Недрa, 1998. — 320 с.
3. Ложечников Е.Б. Прокатка в порошковой металлургии. — М.: Металлургия, 1987. — 185 с.

УДК 669.04: 548.735

### СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СВИНЦА И ЕГО СПЛАВОВ С КАДМИЕМ

Шепелевич В.Г., Анисович А.Г., Шахрай О.Н.

*Белорусский государственный университет,*

*Физико-технический институт НАНБ*

*Минск, Беларусь*

Постоянно растущие потребности техники в новых материалах требуют глубоких исследований их структуры, знания взаимосвязи между структурой и свойствами, влияния на структуру различного рода воздействий. В настоящее время разработано новое направление в исследовании и получении ма-

термалов с благоприятным сочетанием различных свойств — сверхбыстрая заливка из расплава, при которой достигаются скорости охлаждения  $10^5$  К/с и выше [1]. В данной работе проводились исследования структуры и свойств быстрозатвердевших фольг свинца и его сплавов с кадмием.

Быстрозатвердевшие фольги сплавов системы Pb-Cd, содержащие до 28 ат. % Cd, получены при затвердевании капли расплава ( $\approx 0,2$  г), инжесктированной на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Образцы получались в виде тонкой фольги. Сторона фольги, контактирующая с кристаллизатором, имела зеркальный вид, а противоположная сторона, контактирующая с атмосферой, была бугристой. Металлографический анализ проводился с помощью микроскопа Neophot-21. Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-2 в медном излучении. Текстура фольг исследована методом обратных полюсных фигур. Полносная плотность  $\rho_{hkl}$  дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитана по методу Харриса [2]. Микротвердость измерялась с помощью прибора ПМТ-3. Исследования проводились при нагрузке 10г для всех образцов, время выдержки нагрузки 15 с. Относительная ошибка измерения микротвердости составляет 3 %.

Таблица 1  
Значения полюсных плотностей дифракционных линий  
быстрозатвердевших фольг системы Pb-Cd

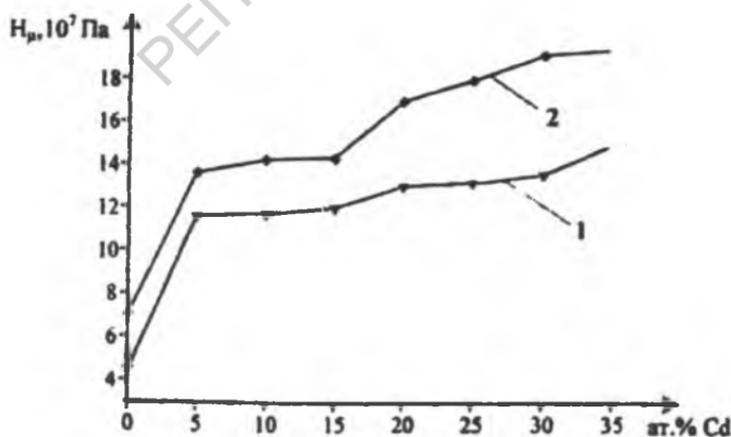
hkl	$\rho_{hkl}$				
	Pb	Pb- 5ат.%Cd	Pb- 10ат.%Cd	Pb- 20ат.%Cd	Pb- 28ат.%Cd
111	4,4	4,0	4,0	4,4	4,4
200	0,9	0,5	0,5	0,4	0,5
220	0,1	0,4	0,4	0,4	0,5
311	0,3	0,6	0,5	0,4	0,4
331	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
420	0,2	0,3	0,4	0,2	0,1

Быстрозатвердевшие фольги свинца и сплавов системы Pb-Cd имели микрокристаллическую структуру. Если в массивном образце чистого свин-

ца средний размер зерна достигает 80 мкм, то в быстрозатвердевшей фольге не превышает десяти микрон. При этом легирование свинца кадмием приводит к уменьшению среднего размера зерен в быстрозатвердевших фольгах. Для сплава Pb-10 ат. % Cd средний размер выделений второй фазы (твердого раствора на основе кадмия) в массивном образце составляет 25 мкм, а в быстрозатвердевшей фольге 7 мкм.

В таблице 1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий исследуемых фольг. Наибольшим значением полюсной плотности характеризуется дифракционная линия 111. На долю данной ориентировки приходится 65-85 % объема фольги.

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, растущей с наибольшей скоростью. Энергетический барьер перемещения межфазной границы, совпадающей с плоскостями  $\{111\}$  меньше, чем для межфазной границы, совпадающей с плоскостями  $\{100\}$  [3]. Вследствие этого при быстром затвердевании предпочтителен рост зерен, у которых плоскости  $\{111\}$  перпендикулярны направлению теплоотвода, формируя тем самым текстуру (111) в быстрозатвердевших фольгах свинца и его сплавах с кадмием.



Зависимость микротвердости фольг (1) и массивных сплавов (2) системы свинец-кадмий от концентрации кадмия

Результаты измерения микротвердости сплавов системы Pb-Cd представлены на рисунке. Микротвердость сплавов зависит от концентрации кадмия. При этом микротвердость фольг всех исследуемых сплавов меньше микротвердости массивных образцов и повышается с увеличением процентного содержания легирующего элемента.

Увеличение микротвердости свинца при легировании объясняется образованием твердого раствора на его основе и выделением мелкодисперсных частиц второй фазы на основе кадмия [4]. Меньшее значение микротвердости фольг, чем массивных образцов, можно объяснить измельчением зеренной структуры. Известно [5], что в металлах границы зерен при температурах  $T = 0,5 T_m$  и выше ( $T_m$  — температура плавления по шкале Кельвина) являются дислокационными зонами, и возможно зернограницное проскальзывание.

Отжиг фольг свинца при 240 °C в течение 1 часа приводит к увеличению среднего размера зерна до 12 мкм, что объясняется процессами рекристаллизации.

В таблице 2 приведены значения полюсных плотностей для фольг сплавов Pb-5 ат. % Cd и Pb-10 ат. % Cd, отожженных при температуре 240 °C в течение 1 часа.

Таблица 2

Значения полюсных плотностей дифракционных линий  
быстрозатвердевших фольг системы Pb-Cd

hkl	$P_{hkl}$	
	Pb-5 ат. % Cd	Pb-10 ат. % Cd
111	2,2	2,3
200	1,1	1,1
220	0,3	1,0
311	1,0	0,9
331	0,6	0,4
<b>420</b>	0,8	0,3

После отжига фольг полюсная плотность дифракционной линии 111 уменьшается, полюсные плотности остальных линий незначительно увеличиваются. Наблюдается ослабление текстуры (111), обусловленное протеканием рекристаллизационных процессов.

При температуре 100 °С происходит увеличение микротвердости фольг чистого свинца (в 1,2 раза), микротвердость фольг Pb-5 ат. % Cd, Pb-10 ат. % Cd остается неизменной. После отжига при температуре 240 °С наблюдается увеличение микротвердости всех исследуемых фольг (в 1,5 раза). Увеличение микротвердости фольг свинца при отжиге целесообразно связать с протеканием рекристаллизационных процессов, вызывающих рост среднего размера зерен и уменьшение площади межзеренных границ. В фольгах сплавов Pb-Cd выделения второй фазы задерживают протекание рекристаллизации. Поэтому их отжиг при температуре 100 °С не изменяет микротвердость. Но при последующем отжиге при температуре 240 °С рекристаллизационные процессы все же происходят, обуславливая увеличение среднего размера зерна и повышение микротвердости.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Быстрозатвердевшие фольги свинца и его сплавов с кадмием имеют мелкодисперсную структуру и текстуру (111).
2. Микротвердость быстрозатвердевших фольг системы Pb-Cd увеличивается с повышением концентрации кадмия и по величине меньше микротвердости массивных литых сплавов.
3. Отжиг приводит к укрупнению зеренной структуры, ослаблению текстуры (111) и увеличению микротвердости быстрозатвердевших фольг свинца и его сплавов с кадмием.

### Литература

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. – М.: Metallurgia, 1982. – 168 с.
2. Вассерман Г., Гривен И. Текстуры металлических материалов. – М.: Metallurgia, 1969. – 656 с.
3. Li D.Y., Szpunar J.A. J. of Materials Science Letters. 1994. V.13. P.1521.
4. Тофпенец Р.Л. Разупрочняющие процессы в стареющих сплавах. – М.: Наука и техника, 1979. – 184 с.
5. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1972. – 408 с.