

УДК 548.735:669.715

*Л.В. ЖИЛКО, С.В. ГУСАКОВА, В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ*

### **ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ – СВИНЕЦ, ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ**

Researches structures of grain and influences of annealing on a structure of foil alloys Al – 1,5 weights. % Pb are presented. Sizes of grains in the layers adjoining to a surface *A* and *B*, are equal 27 and 29 microns accordingly. In the course of isochronous and isothermal annealing rapidly solidified foil alloys of system aluminum-lead the texture (111) remains at heating to 600 °C.

Сплавы алюминия с легкоплавкими металлами (Pb, Sn) используются в качестве антифрикционных и демпфирующих материалов [1, 2]. Их механические свойства и эксплуатационные характеристики определяются не только химическим составом, но и структурой, которая зависит от условий получения и последующей термической обработки [3–6]. В последние десятилетия активно развиваются методы синтеза материалов в сильно неравновесных условиях, например высокоскоростная кристаллизация [3, 7, 8], при которой скорость охлаждения жидкой фазы составляет более  $10^5$  К/с, что приводит к значительному измельчению структуры. В связи с этим исследование зеренной структуры сплавов системы алюминий – свинец, полученных высокоскоростной кристаллизацией, является актуальным.

Сплавы системы алюминий – свинец с концентрацией свинца 0,5÷9 мас. % получены сплавлением компонентов в кварцевой ампуле. Чистота алюминия и свинца не хуже 99,99 %. Фольги сплавов получены при затвердевании капли расплава массой 0,2÷0,3 г, инжектируемого на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Линейная скорость поверхности кристаллизатора 15 м/с.

Для исследования были взяты фольги толщиной 40÷80 мкм. Как показал расчет [7], скорость охлаждения расплава достигала  $10^6$  К/с, а степень его переохлаждения – 200 К. Для исследования зеренной структуры быстрозатвердевших фольг использовался растровый электронный микроскоп LEO 1455 VP фирмы «Карл Цейсс» с приставкой «HKL CHANNEL5» (Oxford Instruments) и для рентгеноструктурного анализа – дифрактометр ДРОН-3. При изучении текстуры применялись прямые и обратные полюсные фигуры. Полюсные плотности дифракционных линий для обратных полюсных фигур рассчитывались по методу Харриса [9]. Параметры зеренной структуры определялись методом секущих [10].

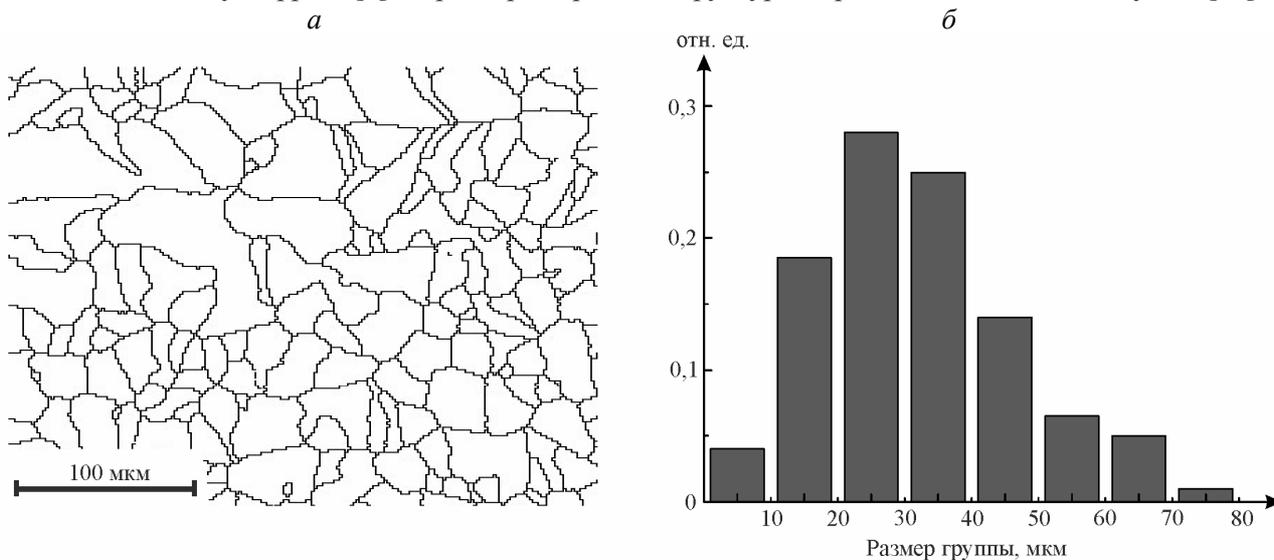


Рис. 1. Зеренная структура (а) поверхности А быстрозатвердевшей фольги сплава Al – 1,5 ат. % Pb и гистограмма (б) распределения максимальных зерен по размерным группам

Исследование зеренной структуры фольг проводилось на их поверхности А, контактирующей с кристаллизатором, и на противоположной поверхности В. На рис. 1 а представлена фотография зеренной структуры поверхности А фольги сплава Al – 1,5 мас. % Pb, а на рис. 1 б – гистограмма распределения максимальных хорд сечений по размерным группам. Расчет показал, что средние размеры зерен в слоях, прилегающих к поверхностям А и В, равны 27 и 29 мкм соответственно.

В быстрозатвердевших фольгах исследуемых сплавов образуется преимущественная ориентация зерен. На рис. 2 прямые полюсные фигуры плоскостей {111}, {110} и {100} фольги сплавов Al – 1,5 мас. % Pb. На них стереографическая проекция нормали к фольге находится в центре круга проекций. Гномостереографические проекции плоскостей {111} располагаются преимущественно в центре круга проекций или на незначительном удалении от него, что указывает на формирование аксиальной текстуры (111) в быстрозатвердевших фольгах. Плоскости {110} и {100} образуют с плоскостями {111} углы 35 и 66° соответственно. Поэтому гномостереографические проекции плоскостей {110} и {100} (рис. 2 б, в) формируют темные кольца на круге проекций прямых полюсных фигур.

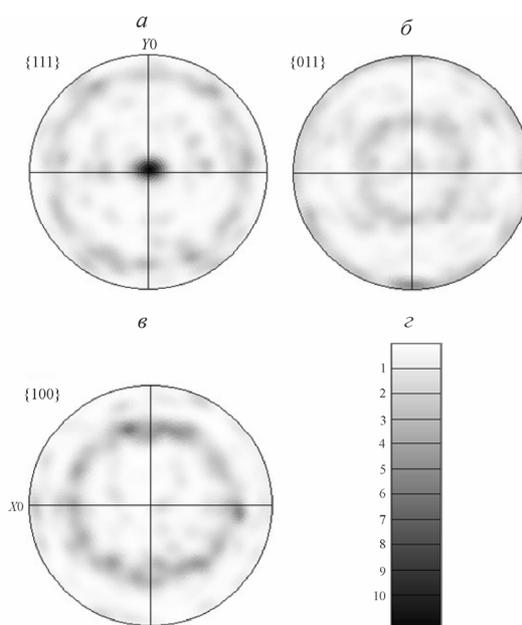


Рис. 2. Прямые полюсные фигуры плоскостей {111} (а), {110} (б) и {100} (в) фольги сплава Al – 1,5 ат. % Pb и уровень интенсивности (z)

При использовании обратных полюсных фигур для описания текстуры проводится расчет полюсных плотностей дифракционных линий. Их значения для фольги сплавов, содержащих 0,5÷9 мас. % Pb, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Полюсные плотности дифракционных линий для быстрозатвердевших фольг сплавов системы алюминий – свинец**

Концентрация свинца, мас. %	Дифракционные линии					
	200	220	311	222	331	420
0,5	0,2	0,2	0,1	5,3	0,1	0,1
0,7	0,2	0,4	0,2	4,7	0,3	0,2
1,0	0,2	0,4	0,3	4,8	0,1	0,2
1,5	0,2	0,5	0,3	4,7	0,2	0,1
3,0	0,2	0,4	0,3	4,6	0,2	0,2
9,0	0,3	0,3	0,4	4,4	0,3	0,3

Наибольшим значением полюсной плотности характеризуется дифракционная линия 222, что подтверждает формирование текстуры (111) в быстрозатвердевших фольгах исследуемых сплавов. Доля объема фольги, у которой плоскости {111} параллельны поверхности *A* фольги, достигает 90 %. Следует отметить, что в алюминии и его сплавах, получаемых с небольшой скоростью охлаждения расплава, формируется текстура (100) [9]. В быстрозатвердевших фольгах алюминия и его сплавах с цинком, магнием и переходными металлами образуется текстура (111) [11–13]. В [14] дано обоснование возникновения текстуры в металлах, имеющих гранецентрированную кубическую решетку. В данной работе приведены результаты расчета величин энергетического барьера при перемещении межфазной границы кристалл – жидкость для различных кристаллографических плоскостей. Ее величина минимальная для межфазной границы, совпадающей с плоскостями {111}. Поэтому в направлении теплоотвода растут преимущественно те зерна, у которых плоскости {111} совпадают с межфазной границей и параллельны поверхности кристаллизатора, формируя тем самым текстуру (111).

Проведено исследование влияния отжига на текстуру фольг изучаемых сплавов. В табл. 2 приведены значения полюсных плотностей фольг различных сплавов, подвергнутых изохронному отжигу.

Таблица 2

**Зависимость полюсной плотности  $p_{222}$  от температуры нагрева при изохронном отжиге фольг сплавов системы алюминий – свинец**

Концентрация свинца, мас. %	Температура отжига, °С												
	20	60	90	125	165	200	250	300	350	420	470	530	600
1,0	4,8	4,7	4,8	4,7	4,7	4,8	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7	4,9	5,1
1,5	4,7	4,8	4,7	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,6	4,7	4,4	4,7	4,6
3,0	4,6	4,5	4,6	4,6	4,7	4,5	4,5	4,6	4,5	4,7	4,7	4,6	4,6

Изменения полюсной плотности дифракционных линий незначительны при нагреве фольг от 20 до 600 °С в процессе изохронного отжига, т. е. текстура (111) быстрозатвердевших фольг сплавов системы алюминий – свинец при данной температуре сохраняется. Изотермический отжиг при 550 °С в течение 10 ч также не привел к изменению текстуры (111).

Таким образом, в быстрозатвердевших фольгах сплавов системы алюминий – свинец формируется текстура (111), которая сохраняется при нагреве до 600 °С.

1. Промышленные деформированные, спеченные и литейные алюминиевые сплавы / Отв. ред. Ф.И. Квасов, И.Н. Фриндландер. М., 1972.
2. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Аврамов Ю.Д., Шляпин А.Д. Физические основы и технологии обработки современных материалов: в 2 т. М.; Ижевск, 2004. Т. 1.
3. Физическое металловедение: в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена. М., 1987. Т. 2.
4. Мартин Дж., Доэрти Р. Стабильность микроструктуры металлических систем. М., 1987.
5. Калачев Б.А., Габидуллин Р.М., Пигузов Ю.В. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов. М., 1980.
6. Коршунов Л.Г., Носкова Н.И., Корзникова А.В. и др. // Физ. мет. и металловед. 2009. Т. 108. № 5. С. 551.
7. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М., 1980.
8. Васильев В.А., Митин Б.С., Пашков И.Н. и др. Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технология и материалы). М., 1998.
9. Васирман Г., Гренев И. Текстура металлических материалов. М., 1969.
10. Чернявский К.С. Стереология в металловедении. М., 1977.
11. Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. // Физика и химия обработки материалов. 2005. № 4. С. 81.
12. Shepelevich V.G., Sivtsova P.A., Vasilevich et al. // J. of alloys and compounds. 2005. Vol. 403. Iss. 1-2. P. 267.
13. Сивцова П.А., Неумержицкая Е.Ю., Шепелевич В.Г. // Металлы. 2007. № 4. С. 83.
14. Li D.Y., Szpunar I.A. // I. Mater. Sci. Lett. 1994. Vol. 13. P. 1521.

Поступила в редакцию 15.06.11.

**Любовь Владимировна Жилко** – аспирант кафедры физики твердого тела. Научный руководитель – В.Г. Шепелевич.  
**Софья Викторовна Гусакова** – инженер кафедры физики твердого тела.  
**Василий Григорьевич Шепелевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела.