

ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА СПЛАВА Al-1,5 масс. % Pb

В.Г. Шепелевич, д-р физ.-мат. наук, проф.¹,

Т.Л. Кушнер, канд. физ.-мат. наук, доц.²,

В.И. Гладковский, канд. физ.-мат. наук, доц.²,

А.И. Пинчук, канд. физ.-мат. наук, доц.²,

Ю.В. Максимов, студент³

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

² Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

³ Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Представлены результаты исследования структуры и некоторых свойств быстрозатвердевших фольг сплава Al-1,5 масс. % Pb. Образование в фольгах текстуры {111} алюминия подтверждается обратными расчетом полюсных плотностей дифракционных линий. Определены параметры зеренной структуры. Проведено исследование по влиянию отжига на текстуру фольг сплава Al-1,5 масс. % Pb.

Ключевые слова: сплав, быстрозатвердевшая фольга, структура, текстура, отжиг.

Сплавы системы алюминий-свинец, в которой имеют место монотектическое превращение при 659 °С и эвтектическое превращение при 327 °С, используются в качестве антифрикционных и демпфированных материалов [1]. Имеются сообщения об их применении для получения водорода [2]. Механические и физические свойства сплавов и эксплуатационные характеристики зависят от их химического состава, зеренной структуры, а также от размера, формы и распределения фаз. В последние десятилетия активно происходят исследования материалов, синтезированных в неравновесных условиях, например, при сверхбыстрой закалке из расплава, когда скорость охлаждения достигает порядка 10^6 К/с [3]. В связи с этим исследование структуры и свойств быстрозатвердевших фольг монотектического сплава Al-1,5 масс. % Pb, а также их стабильности является актуальным, имеет научное и практическое значение.

Монотектический сплав Al-1,5 масс. % Pb изготовлен сплавлением компонентов в кварцевой ампуле. Чистота используемых компонентов составляет 99,99. Фольги получены затвердеванием капли расплава, масса которой была равна приблизительно 0,3 грамм. Капля инжигировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. При проведении исследований использовались фольги толщиной от 40 до 70 мкм. Расчетная скорость охлаждения достигала 10^6 К/с.

Исследование структуры фольг проводилось на растровом электронном микроскопе «LEO 1455VP», имеющем специальную приставку «HKL CHANNEL 5». Рентгено-спектральный микроанализ фольг сплава проведен с использованием детектора фирмы «Rontec». При изучении текстуры быстрозатвердевших фольг использовались следующие

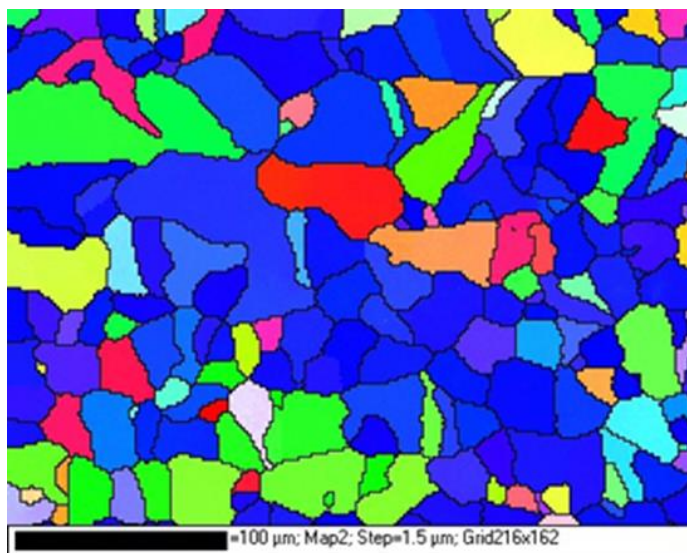
дифракционные отражения алюминия: 111, 200, 220, 311, 331 и 420. Расчет полюсных плотностей дифракционных линий проведен по методу Харриса [4]. Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре «Ultima 1V» в медном излучении ($\text{CuK}\alpha$). Параметры микроструктуры определены методом случайных секущих [5], погрешность измерения составила 5–10 %.

Длина и ширина быстрозатвердевших фольг исследуемого сплава достигали 10 см и 1 см соответственно. На зеркальной поверхности А фольги, контактирующей с кристаллизатором, наблюдались раковины микронных размеров. Противоположная поверхность фольги В имела бугристую структуру. На ней наблюдалась также ячеистая структура. При высокоскоростном затвердевании из-за значительного переохлаждения расплава происходит «захват» атомов свинца выделениями алюминия.

По данным работы [6], посвященной исследованию влияния переохлаждения на распад пересыщенного раствора алюминий-свинец, установлено, что при переохлаждении расплава на величину более 20 °С в нем происходит образование нанокластеров свинца. При высокоскоростном охлаждении расплава достигается переохлаждение в слое, прилегающем к поверхности кристаллизатора, что способствует образованию дисперсных выделений свинца [3]. При перемещении фронта кристаллизации от поверхности А к поверхности В величина переохлаждения уменьшается из-за выделения теплоты при кристаллизации, что приводит к увеличению выделений свинца и формированию ячеистой структуры. При охлаждении сплава ниже эвтектической температуры оставшаяся жидкость, обогащенная свинцом, испытывает эвтектическое превращение, при котором образуются выделения свинца и алюминия. Выделения алюминия примыкают к ранее затвердевшему алюминию. Выделения свинца располагаются на границах зерен основного компонента, они более крупные по сравнению с ранее образовавшимися частицами свинца, локализованных на границах ячеек и внутри них.

Быстрозатвердевшие фольги монотектического сплава Al-1,5 масс.% Pb имеют микрокристаллическую структуру. На рисунке 1 представлено изображение зеренной структуры на стороне А фольги указанного сплава.

**Рисунок 1. – Зеренная структура
быстрозатвердевшей фольги
сплава Al-1,5 масс.% Pb на поверхности А**



В быстрозатвердевших фольгах сплава Al-1,5 масс.% Pb формируется преимущественная ориентация зерен. На рисунке 2 представлены полюсные фигуры плоскостей {111} алюминия на поверхности фольги А исследуемого сплава. Гномостереографические проекции плоскостей {111} алюминия располагаются преимущественно в центре круга проекций или на незначительном расстоянии от него, что указывает на формирование текстуры {111}.

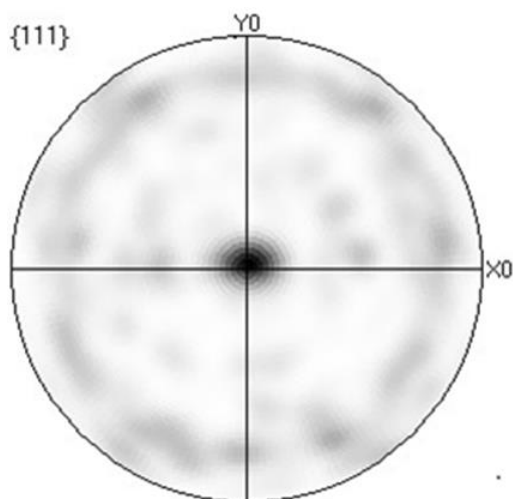


Рисунок 2. – Полюсная фигура гномостереометрических проекций плоскостей {111} алюминия фольги сплава Al-1,5 масс.% Pb на поверхности А

Образование в фольгах текстуры {111} алюминия подтверждается обратными расчетом полюсных плотностей дифракционных линий, представленных в таблице. Полюсные плотности рассчитывали по методу Харриса [4].

Таблица. – Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг сплава Al-1,5 масс.% Pb

Дифракционные отражения	Температура отжига, °C				
	20 °C	180 °C	350 °C	470 °C	600 °C
200	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
220	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
311	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
222	4,7	4,7	4,6	4,7	4,7
331	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
429	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

Методом случайных секущих [4] определены распределения хорд на сечениях зерен по размерным группам. Распределение представлено на рисунке 3. Максимальная доля хорд приходится на размерную группу от 20 до 30 мкм. Определены параметры зеренной структуры. Средние значения длин хорд на сечениях зерен на поверхностях А и В равны 31 и 30 мкм соответственно. Средние значения размеров зерен соответственно равны 52 и 51 мкм. Удельная поверхность межзеренных границ составляет 120 мкм⁻¹.

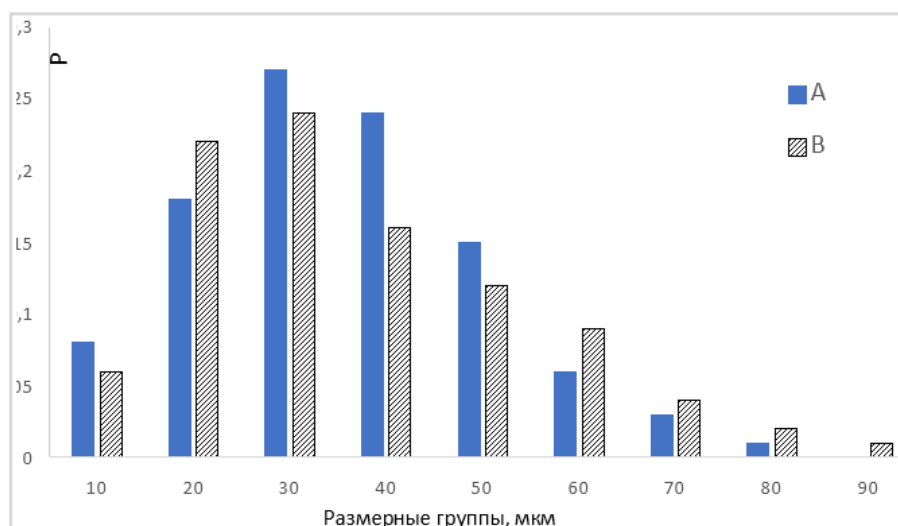


Рисунок 3. – Гистограмма распределения хорд случайных секущих на сечениях зерен быстрозатвердевших фольг сплава Al-1,5 масс.% Pb в исходном состоянии на поверхностях А и В

Обоснование формирования текстуры в алюминии представлено в работе [6], в которой приведены результаты расчета энергетического барьера при перемещении межфазной границы «кристалл-жидкость» для различных кристаллографических плоскостей. Установлено, что ее величина принимает минимальное значение для межфазной границы, совпадающей с плоскостями {111}. Поэтому в направлении теплоотвода растут преимущественно те зерна, у которых плоскости {111} совпадают с межфазной границей, то есть параллельны поверхности кристаллизатора, формируя текстуру (111).

Проведено исследование по влиянию отжига на текстуру фольг рассматриваемого сплава. Установлено, что в интервале температур отжига от 20 до 600 °С полюсные плотности дифракционных отражений изменяются не более, чем на величину 0,1, то есть текстура быстрозатвердевших фольг сохраняется. Это может быть связано с наличием на границах зерен жидких дисперсных выделений свинца.

Таким образом, средний размер зерен быстрозатвердевших фольг сплава Al-1,5 масс. % Pb равен 51 мкм, а удельная поверхность границ зерен составляет 120 мкм⁻¹. В фольгах образуется четкая текстура (111), устойчивая при отжиге до 600 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физические основы и технологии обработки современных материалов : в 2 т. / О. А. Троицкий [и др.]. – Москва; Ижевск : Ин-т компьютерных исслед., 2019. – Т. 1. – 590 с.
2. Shepelevich, V. G. Structure of rapidly solidified Al-(0,25-2,0) wt.% Bi alloys. / V. G. Shepelevich. – Inorganic Materials. Applied Research, 2023. – Vol. 14, № 3. – P. 720–723. – DOI: 10.1134/S2075113323030383
3. Мирошниченко, И. С. Закалка из жидкого состояния. – М. : Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Вассерман, Г. Текстуры металлических материалов / Г. Вассерман, И. Гревен ; пер. с нем. В. Я. Агароника [и др.] ; под ред. М. М. Бородкиной. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1969. – 654 с.
5. Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография: стереология металлических материалов. – М. : Металлургия, 1976. – 271 с.
6. Li, D. Y., Szpunur, J. A. A possible rule for surface packing density in the formation of (111) texture in solidified FCC metals. – Journal of Materials Science Letters, 1994. – Vol. 13. – P. 1521–1523. – DOI: 10.1007/BF00626496.