

Секция 5.

Динамика и прочность машин

**30 мая 2002 г.,
13.00 – 18.00**

**Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 204**

Председатель секции: Скойбеда А.Т.- д.т.н., профессор

Секретарь: Калина А.А. – ст. преподаватель

УДК 621.785.6

Е.Ю. Василевич, Е.С. Гутько, В.Г. Шепелевич

ТЕКСТУРА ФОЛЬГ АЛЮМИНИЯ И СПЛАВОВ НА ЕГО ОСНОВЕ, ПОЛУ- ЧЕННЫХ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

Известно, что при сверхбыстрой закалке металлов из жидкой фазы создается структура, существенно отличающаяся от структуры, формируемой при кристаллизации в условиях, близких к равновесным [1]. При быстром затвердевании алюминиевых сплавов формируется микрокристаллическая зеренная структура, значительно увеличивается растворимость легирующих элементов, образуются мелкодисперсные выделения равновесных и неравновесных фаз [2], что обуславливает нестабильность их структуры и физико-механических свойств. При нагреве быстрозатвердевших алюминиевых сплавов возможно протекание миграции высокоугловых межзеренных границ и фазовых превращений, связанных с распадом пересыщенного твердого раствора, растворением метастабильных и выделением стабильных фаз [3,4]. Эти процессы во многом определяются структурой межзеренных границ, являющихся предпочтительными местами образования зародышей новой фазы. Структура меж-

зеренных границ во многом определяется взаимной ориентацией зерен, образующих ее. В связи с этим является актуальным исследование преимущественной ориентации зерен (текстуры) в фольгах, получаемых сверхбыстрой закалкой из расплава.

Быстрозатвердевшие фольги алюминия и его бинарных сплавов, содержащих цинк, железо, никель, марганец, титан и хром, получены путем затвердевания капли расплава (~ 0,2 г), инжектируемой на полированную внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Линейная скорость поверхности цилиндра 14 м/с. Толщина получаемых фольг находилась в пределах от 10 до 100 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [1], порядка 10^6 К/с. Для исследования текстуры фольг применялся рентгеноструктурный анализ. Съемка образцов проводилась в медном излучении на дифрактометре ДРОН-3. Текстура фольг изучалась с помощью «обратных» полюсных фигур. Полюсные плотности дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитывались по методу Харриса [5]:

$$P_{hk'l} = n (I_{hk'l} / I_{hk'l}^0) / \sum_{h'k'l'} (I_{h'k'l'} / I_{h'k'l'}^0),$$

где $n=6$ – число дифракционных линий, $I_{hk'l}$, $I_{hk'l}^0$ – интенсивности дифракционных линий фольги и эталона.

В табл.1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий «толстых» фольг алюминия и его сплавов, толщины которых находятся в пределах от 40 до 80 мкм. Для фольг алюминия наибольшее значение полюсной плотности принадлежит дифракционной линии 111. Легирование алюминия железом и титаном вызывает уменьшение p_{111} , т.е. ослабление текстуры (111). Но легирующие элементы цинк, марганец, никель и хром приводят к увеличению p_{111} , т.е. обуславливают усиление текстуры (111).

Таблица 1

Полюсные плотности дифракционных линий «толстых» быстрозатвердевших фольг алюминия и его сплавов

Металл	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al	2,3	0,6	0,9	0,7	0,7	0,8
Al-0,5 ат. % Fe	1,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8
Al-0,4 ат. % Ti	1,2	0,8	1,2	1,1	0,6	1,1
Al-0,5 ат. % Mn	4,0	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
Al-0,6 ат. % Ni	3,2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
Al-0,8 ат. % Cr	3,9	0,7	0,5	0,5	0,2	0,2
Al-0,2 ат. % Zn	2,4	0,6	1,0	1,0	0,6	0,4
Al-0,4 ат. % Zn	3,7	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4

В «тонких» фольгах, толщина которых находится в пределах от 15 до 25 мкм, текстура (111), как видно из табл.2, выражена более четко. Например, для фольги сплава Al-0,4 ат.% Ti около 60 % объема фольги ориентировано плоскостями {111} параллельно внешней поверхности. Скорость охлаждения жидкой фазы при получении «тонких» фольг больше, чем при получении «толстых» фольг в несколько раз [1]. Соответственно и степень переохлаждения жидкости в первом случае больше чем во втором, т.е. с увеличением отклонения условий кристаллизации от равновесных происходит усиление текстуры (111). Следует отметить, что в слитках алюминия и его сплавах, получаемых традиционным литьем, формируется текстура (100) [5]. Однако, в тонких пленках, получаемых термическим напылением в вакууме, происходит образование текстуры (111) [6].

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 фольг определяется теми зернами, у которых межфазная граница «кристалл-жидкость» совпадает с плоскостью, перемещающейся с наибольшей скоростью, и перпендикулярной направлению теплоотвода. В работе [8] определены энергетические барьеры перемещения межфазной границы «кристалл-жидкость» для различных кристаллографических плоскостей. Согласно выполненным расчетам, энергетический барьер перемещения межфазной границы, совпадающей с плоскостями {111} меньше, чем для межфазной границы, совпадающей с плоскостями {100}. Вследствие этого при быстром затвердевании предпочтительнее растут те зерна, у которых плоскости {111} совпадают с межфазной границей и перпендикулярны направлению теплоотвода, т.е. плоскости параллельны поверхности фольги.

Таблица 2

Полусные плотности дифракционных линий «тонких» быстрозатвердевших фольг алюминиевых сплавов

Металл	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al-0,4 ат. % Ti	3,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4
Al-0,5 ат. % Fe	3,0	0,8	0,7	0,7	0,3	0,5
Al-0,8 ат. % Cr	3,1	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5
Al-0,2 ат. % Zn	3,2	0,6	1,1	0,6	0,3	0,2
Al-0,4 ат. % Zn	5,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1

Быстрозатвердевшие фольги алюминия и его сплавов находятся в неустойчивом состоянии. При их нагреве возможна миграция высокоугловых межзеренных границ. В связи с этим проведено исследование текстуры быстрозатвердевших фольг, под-

вергнутых отжигу. В табл.3 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий фольг, отожженных при различных температурах. Отжиг фольги алюминия при 140°C не изменяет значений полюсных плотностей дифракционных линий, а отжиг при 480°C вызывает их незначительное перераспределение. Проведенные металлографические исследования показали, что отжиг быстрозатвердевших фольг алюминия выше 250°C вызывает увеличение среднего размера зерна. Таким образом, укрупнение зеренной структуры связано с протеканием собирательной рекристаллизации, сохраняющей текстуру (111). Отжиг «толстых» фольг сплава Al-0,5 ат. % Mn при 400°C в течение 1 часа не вызывает изменения значений полюсных плотностей дифракционных линий, что обусловлено отсутствием рекристаллизационных процессов. Однако последующий отжиг этих фольг при 500°C в течение 1 часа, приводящий к собирательной рекристаллизации, вызывает незначительное перераспределение полюсных плотностей дифракционных линий, т.е. сохраняет текстуру (111). Отжиг быстрозатвердевших фольг сплава Al-2 ат.% Zn при 300 и 500 °C в течении 1 часа вызывает исчезновение текстуры (111). На смену ей приходит текстура (100). В «тонких» фольгах сплава Al-0,4 ат.% Ti при отжиге 450°C в течение 1 часа хотя и происходит более сильное перераспределение значений полюсных плотностей, но, тем не менее, текстура (111) не исчезла, а лишь ослабла. Таким образом, текстура (111), образовавшаяся в быстрозатвердевших фольгах при отжиге, вызывающем протекание собирательной рекристаллизации, сохраняется в сплавах, содержащих титан и марганец, а в сплавах, легированных цинком исчезает.

Таблица 3

Полюсные плотности дифракционных линий отожженных фольг алюминия и его сплавов

Металл (температура, °C/ время отжига, ч)	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al (140/1)	2,3	0,6	0,9	0,7	0,7	0,8
Al(480/1)	2,5	0,4	1,0	0,8	0,6	0,7
Al-0,4 ат. % Ti (310/1)	3,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4
Al-0,4 ат.% Ti (450/1)	2,7	0,5	0,8	0,8	0,5	0,8
Al-0,5 ат.% Mn (400/1)	4,0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5
Al-0,5 ат. % Mn (500/1)	3,8	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5
Al-2 ат. % Zn (300/1)	1,2	0,8	1,1	1,4	0,7	0,8
Al-2 ат. % Zn (500/1)	0,7	1,7	0,6	1,1	0,3	1,6

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния –М.: Metallurgia, 1982.- 168 с.
2. Физическое металловедение/Под ред. Кана Р.У., Хаазена П.Г.- Т.2.-М.: Metallurgia, 1987.- 624 с.
3. Шепелевич В.Г., Ташлыкова-Бушкевич И.И. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг алюминия и его сплавов с медью// Вестн. Белорусского ун-та. Сер.1. -№ 1. –С. 29-31.
4. Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы алюминий-железо// Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. –Мн.: Технопринт, ПГУ. –С.162-165.
5. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. –М.: Metallurgia, 1969. –654 с.
6. Астахов О.Ф., Горелик С.С., Сагалова Т.Б., Сафонов Ю.С.//ФММ. –1994. –Т.77. –С.83-89.
7. Broughton J.Q., Abraham F.F.//Chem. Phys. Lett. –1980. –V.71. – P.456-461
8. Li D.Y., Szpunar I.A.//J. Mater. Sci. Lett. –1994. –V.13. –P.1521-1523.

УДК 546.621:621.785.62:539.2

Е.Ю. Василевич, В.Г. Шепелевич

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВА Al- 9,6 ат. %Si- 0,8 ат. %Ti

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

В последние десятилетия активно разрабатываются методы получения материалов сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы, позволяющие создать структуру, которую нельзя получить используя традиционные технологии. К числу таких материалов относятся и алюминиевые сплавы. При сверхбыстрой закалке из расплава формируется мелкодисперсная структура, образующая сильно пересыщенные твердые растворы и метастабильные фазы [1,2]. В данной работе представлены результаты исследования структуры и свойств быстрозатвердевших фольг литейного сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti.

Фольги сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti получены сверхбыстрой закалкой из жидкого состояния. Степень перегрева расплава не превышала 50 °С. Капля расплава ($\approx 0,2...0,3$ г) инжестировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. Радиус цилиндра 10 см, а частота его вращения 1500 1/мин. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет[3], не менее 10^6 К/с. Для исследования структуры и свойств использовали фольги толщиной от 20 до 60 мкм.

Металлографические исследования, выполненные с помощью оптического микроскопа Neophot – 20, показали, что быстрозатвердевшие фольги имели мелкозер-