

СТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ – ХРОМ

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

При сверхбыстрой закалке из жидкой фазы достигается значительное увеличение растворимости легирующих элементов в матрице, формируется микрокристаллическая структура, возможно образование мелкодисперсных выделений метастабильных и стабильных фаз, что существенно влияет на физико-механические свойства материалов [1]. Известно [2], что равновесная растворимость переходных элементов в алюминии очень низкая, что ограничивает их использование в качестве легирующих элементов при получении сплавов традиционными технологиями. В связи с этим в данной работе представляются результаты исследования структуры быстрозатвердевших фольг сплавов системы алюминий-хром.

Сплав Al — 1,5 ат. % Cr получен сплавлением компонентов в индукционной печи. Затем из этого сплава и алюминия приготавливались сплавы, содержащие 0,2, 0,4 и 0,8 ат. % Cr. Для получения фольги капля расплава ($\approx 0,2$ г) инжестрировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра, где и происходила кристаллизация. Линейная скорость поверхности цилиндра 15 м/с. Для исследования использовались фольги толщиной 30 ... 80 мкм. Скорость охлаждения жидкости при получении фольги такой толщины ≈ 106 К/с [3]. Рентгеноструктурные исследования быстрозатвердевших фольг выполнены на дифрактометре ДРОН-3 в медном излучении. Для проведения металлографического анализа использовался ПМТ-3. Изохронный отжиг фольг проводился в интервале от 20 °С до 550 °С через 60–90 °С с выдержкой по 30 мин при каждой температуре отжига.

Быстрозатвердевшие фольги имеют микрокристаллическую структуру. Например, средний размер зерна фольги сплава Al – 0,4 ат. % Cr равен 4 мкм. Зерна в фольге имеют преимущественную ориентировку. В таблице 1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331, 420 для фольг исследуемых сплавов. При этом рентгеновское излучение падало на сторону фольги, которая при кристаллизации находилась в контакте с поверхностью кристаллизатора. Наибольшим значением полюсной плотности характеризуется дифракционная линия 111. Такая же текстура (111) наблюдалась ранее в быстрозатвердевших фольгах сплавов систем алюминий-марганец, алюминий-цинк и алюминий-титан [4]. Ее формирование объясняется тем, что в направлении теплоотвода, совпадающем с нормалью к поверхности кристаллизатора с наибольшей скоростью растут те зерна, для которых межфазная граница кристалл-жидкость совпадает с плоскостями {111}.

Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг сплавов Al — Cr

Состав и состояние фольги	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al-0,2 ат. % Cr, исходное	2,4	0,4	1,4	0,8	0,6	0,4
Al-0,4 ат. % Cr, исходное	4,3	0,2	0,5	0,5	0,2	0,2
Al-0,8 ат. % Cr, исходное	3,9	0,7	0,5	0,5	0,2	0,2
Al-1,5 ат. % Cr, исходное	1,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7
Al-0,4 ат. % Cr, отжиг при 280 °C	1,6	1,0	1,0	0,8	0,7	0,8
Al-0,4 ат. % Cr, отжиг при 360 °C	1,7	1,0	0,2	1,0	0,7	0,7
Al-0,4 ат. % Cr, отжиг при 420 °C	1,2	1,2	1,2	1,0	0,7	0,7
Al-0,4 ат. % Cr, отжиг при 490 °C	1,0	0,7	1,2	1,2	1,0	1,0
Al-0,4 ат. % Cr, отжиг при 550 °C	1,1	0,9	1,1	1,3	0,7	0,9

Для быстрозатвердевших фольг, содержащих 0,2, 0,4 и 0,8 ат. % Cr наблюдаются только дифракционные отражения, принадлежащие твердому раствору на основе алюминия. При этом параметр элементарной ячейки, определяемый по положению дифракционной линии 420, уменьшается с увеличением концентрации хрома в твердом растворе до 0,8 ат. % Cr (рис. 1). На дифрактограмме фольг сплава Al-1,5 ат. % Cr наблюдаются дополнительные дифракционные линии. В таблице 2 приведены значения углов, при которых они обнаружены, а также соответствующие им рассчитанные межплоскостные расстояния d_z . Кроме того, в этой таблице приведены рассчитанные значения межплоскостных расстояний d_t для фазы CrAl₇, имеющей моноклинную кристаллическую структуру с параметрами элементарной ячейки $a = 20,47 \text{ \AA}$, $b = 7,64 \text{ \AA}$, $c = 25,36 \text{ \AA}$ и $\beta = 155^\circ 10'$ [5], а также индексы соответствующих плоскостей. Совпадение d_z и d_t позволяет утверждать, что быстрозатвердевшие фольги сплава Al-1,5 ат. % Cr содержат выделения фазы CrAl₇. Выделение частиц CrAl₇ сопровождается резким возрастанием физического уширения β дифракционной линии 420 (рис. 1). Последнее может быть обусловлено появлением микронапряжений в объемах твердого раствора, окружающих частицы второй фазы.

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов системы Al-Cr находятся в неустойчивом состоянии. На рис. 2 представлены графики зависимости изменения параметра элементарной ячейки твердого раствора хрома в алюминии Δa , физического уширения β дифракционной линии 420 и отношения $I(t)/I_0 = 1/3 [I^{301}(t)/I_0^{201} + I^{330}(t)/I_0^{201} + I^{303}(t)/I_0^{303}]$ при изохронном отжиге,

где $I^{hk}(t)$, I_0^{hk} — интенсивности дифракционной линии hkl после отжига при температуре t и после длительного отжига при $t = 550^\circ\text{C}$. Наблюдаемое изменение $\Delta a(t)$ свидетельствует о том, что распад пересыщенного твердого раствора происходит при 200°C и завершается при 360°C .

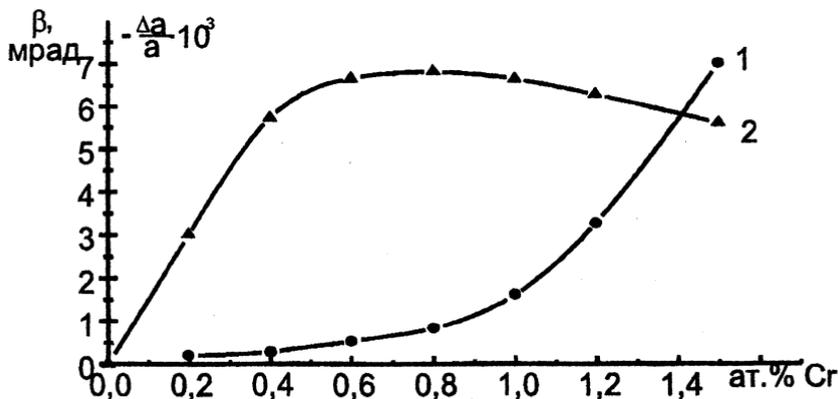


Рис. 1. Зависимость β (1) и Da/a (2) от концентрации хрома в сплавах системы Al-Cr

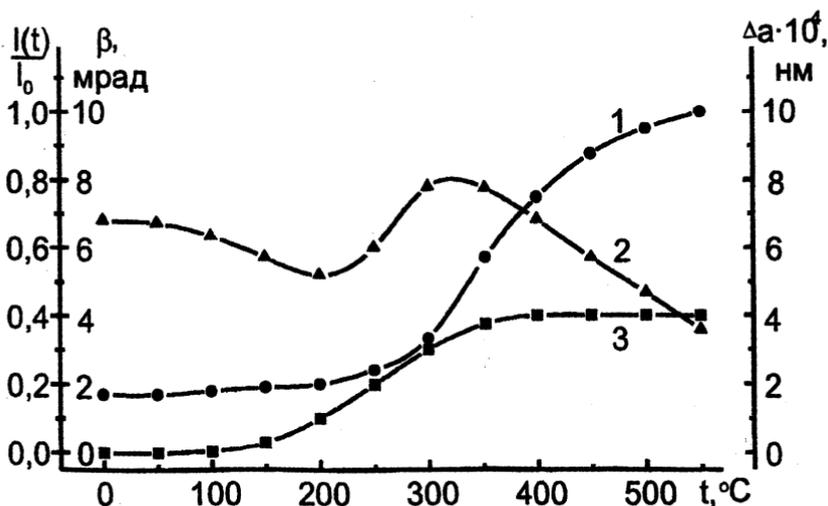


Рис. 2. Изменение $I(t)/I_0$ (1), β (2) и Da/a (3) при изохронном отжиге сплава Al-1,5 ат %Cr

Таблица 2.

Сравнение межплоскостных расстояний d_p и d_f фазы CrAl₇

Θ^0 С	d_p , нм	d_f , нм	hkl
14,3	0,312	0,312	201
17,4	0,257	0,256	103
20,4	0,221	0,219	230
23,8	0,191	0,190	330
28,3	0,162	0,162	303

При изохронном отжиге физическое уширение β дифракционной линии 420 сначала уменьшается, затем увеличивается, а потом снова уменьшается. Начальное уменьшение β при отжиге в интервале от 100 °С до 200 °С можно связать с уменьшением микронапряжений, возникших в матрице при кристаллизации. На начальном этапе распада пересыщенного твердого раствора, когда выделения фазы CrAl₇ небольшие и межфазные границы являются когерентными и полукogerentными, возникают упругие микронапряжения, вызывающие увеличение физического уширения дифракционных линий. Дальнейший рост частиц CrAl₇, увеличение их объемной доли, подтвержденное увеличением $I(t)/I_0$ при повышении температуры отжига, приводит к замене когерентных и полукogerentных межфазных границ на некогерентные, что уменьшает микронапряжения и физическое уширение дифракционных линий.

Увеличение частиц второй фазы, сопровождается уменьшением их числа в объеме, а также на мало — и высокоугловых границах зерен. Создаются условия для их миграции и происходят рекристаллизационные процессы, что подтверждается изменением значений полюсных плотностей дифракционных линий фольг сплавов Al-1,5 ат. % Cr, отожженных при 420 °С (таблица 1). Текстура (111) практически исчезает, новая текстура при этом не появляется.

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги сплавов системы Al-Cr имеют микрорекристаллическую структуру и текстуру (111), состоят из пересыщенного твердого раствора на основе алюминия и при концентрации хрома 1,5 ат. % содержат частицы фазы CrAl₇. При нагреве фольг выше 200 °С происходит распад пересыщенного твердого раствора, сопровождаемый выделением фазы CrAl₇. Нагрев выше 420 °С вызывает протекание рекристаллизационных процессов, при которых текстура (111) исчезает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метастабильные и неравновесные сплавы // Ю.В. Ефимов, Г. Варлимонт, Г.Г. Мухин и др. Под ред. Ю.В. Ефимова. — М.: Металлургия, 1988. — 383 с. 2. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1979. — 640 с. 3. Миропшиченко И.С. Закалка из жидкого состояния. — М.: Металлургия, 1982. — 168 с. 4. Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Текстура фольг алюминия и сплавов на его основе, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы // Машиностроение. — 2002. — Вып. 18. — С. 341–345. 5. Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов: Справочник под ред. И.И. Новикова, И.Л. Рогельберга. Т. 1. — М.: Металлургиздат, 1962. — 609 с.