

СОСТАВ, СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СИСТЕМЫ Al-Ge

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

В течение последних трех десятилетий наряду с традиционными методами термической обработки металлов активно развиваются методы сверхбыстрой заковки из расплава. В сплавах, полученных при охлаждении из жидкой фазы со скоростью 10^5 – 10^6 К/с, проявляются структурные особенности, которые не отражаются в равновесных диаграммах состояний [1]. Цель данного исследования определить средний размер зерна, текстуру, фазовый состав, измерить микротвердость быстрозатвердевших фольг системы Al-Ge, а также исследовать влияние отжига на вышеперечисленные свойства.

Быстрозатвердевшие фольги получали выплескиванием капли расплава требуемого состава на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. Скорость охлаждения расплава $\sim 10^6$ К/с [2]. Получаемые фольги имели толщину от 10 до 100 мкм. Для исследования брали фольги толщиной 30–80 мкм. Текстуру, фазовый состав фольг изучали методами рентгеноструктурного анализа. Съемка образцов проводилась в медном излучении на дифрактометре ДРОН-3. Для выявления границ зерен быстрозатвердевшие фольги травились раствором плавиковой кислоты в воде [3]. Микротвердость H_m измеряли с помощью прибора ПМТ-3, используя нагрузку 20 г, время выдержки составляло 10 с. Изохронный отжиг проводился от комнатной температуры до 480 °С через каждые 30 °С. Время отжига составляло 20 мин при каждой температуре.

Быстрозатвердевшие фольги системы Al-Ge имеют микрокристаллическую структуру. Средний размер зерна фольг Al примерно 9 мкм [4]. Легирование алюминия германием уменьшает зерно. Так для фольг Al — 3,2 ат. % Ge средний размер зерна составляет ~ 4 мкм.

Как видно из таблицы 1, полюсные плотности дифракционной линии (111) несколько выше полюсных плотностей других линии. Однако ярко выраженной текстурой в данных системах не наблюдается.

Рентгеноструктурный анализ исследуемых фольг показал, что наряду с дифракционными линиями Al и Ge имеются дополнительные дифракционные линии, принадлежащие g-фазам. Обнаруженные g-фазы являются метастабильными g_1 - и g_2 -фазами с ромбоэдрической ($a=0,7672$ нм, $a=96,55^\circ$) и моноклинной ($a=0,6734$ нм, $c=0,5818$ нм, $c=0,4282$ нм, $b=88,96^\circ$) ячейками [5].

Таблица 1.

Полюсные плотности дифракционных линий
быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Ge

hkl	Al — 3,2 ат % Ge		Al — 5,0 ат % Ge		Al — 10,0 ат % Ge	
	$P_{исх}$	$P_{350^{\circ}C}$	$P_{исх}$	$P_{320^{\circ}C}$	$P_{исх}$	$P_{320^{\circ}C}$
111	1,4	1,2	1,3	1,3	1,6	1,6
200	1,1	1,0	1,4	1,4	1,2	1,3
220	1,0	1,1	1,2	1,2	1,0	1,1
311	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
331	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4
420	0,7	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5

Как видно из рис. 1, увеличение концентрации германия в быстрозатвердевших фольгах системы Al-Ge приводит к повышению микротвердости, что можно связать с образованием пересыщенного твердого раствора, мелкодисперсных выделений фаз и микрокристаллической структурой.

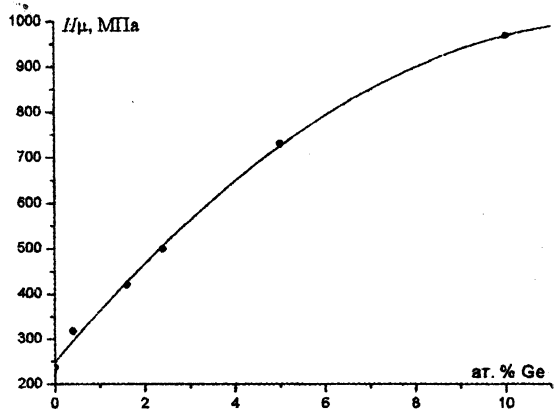


Рис. 1. Зависимость микротвердости фольг сплавов системы Al-Ge от концентрации германия

Быстрозатвердевшие фольги сплавов системы Al-Ge, находящиеся в неустойчивом состоянии, подвергались отжигу. Для фольг сплавов Al — 2,4 ат. %, 5,0 ат. %, 10 ат. % Ge в интервале температур от 80 до 200 °C наблюдается рост микротвердости H_m (рис. 2). Дальнейшее увеличение температуры приводит к уменьшению H_m . Для фольг Al-1,6 ат. % Ge микротвердость практически не изменяется при нагреве до 200 °C и уменьшается при дальнейшем повышении температуры отжига. Микротвердость фольг с содержанием 0,4 ат. % Ge уменьшается уже после отжига выше 80 °C. Увеличение H_m для фольг с содержанием германия выше 2,4 ат. % можно пред-

положить связано с образованием кластеров германия, что является упрочняющим фактором. Известно, что образование кластеров приводит к увеличению H_m на начальном этапе отжига для систем Al-Zn и Al-Mg с большим содержанием цинка и магния [6,7].

Также был проведен изотермический отжиг фольг Al-5,0 ат. % Ge при температурах 75, 140, 240, 320, 400 °C (рис. 3). Изменение микротвердости при изотермическом отжиге согласуется с поведением H_m при изохронном отжиге.

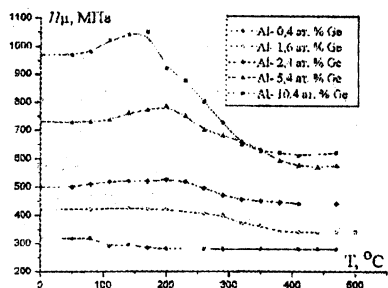


Рис. 2. Изменение микротвердости быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Ge при изохронном отжиге

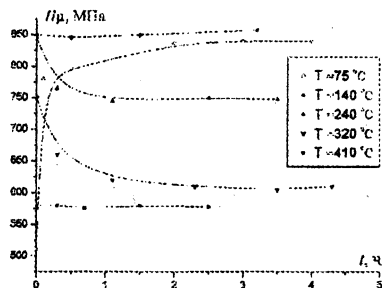


Рис. 3. Изменение микротвердости быстрозатвердевших фольг сплава Al-5,0 ат. % Ge при изотермическом отжиге

Физическое уширение b дифракционной линии (420) твердого раствора на основе алюминия уменьшается при повышении температуры до 140 °C, что подтверждает изотермический отжиг при 140 °C в течение трех часов. Отжиг выше данной температуры не приводит к изменению b . Изменение физического уширения связано с уменьшением микродеформаций.

Изохронный отжиг до 140 °C не влияет на параметр кристаллической решетки, что подтверждает изотермический отжиг в течение 4 часов при 140 °C. Таким образом, при повышении температуры от комнатной до 140 °C концентрация германия в твердом растворе на основе алюминия изменяется незначительно. Дальнейшее увеличение температуры отжига приводит к уменьшению параметра кристаллической решетки.

Изменение температуры отжига от комнатной до 200 °C приводит к увеличению интенсивности линии германия (111), при этом ширина данной линии уменьшается, т. е. объемная доля германия увеличивается и его кристаллическая решетка становится более совершенной.

Интенсивности линий метастабильной фазы g_1 (210) и метастабильной фазы g_2 ($10\bar{2}$) при отжиге уменьшается. При температуре ниже 240 °C происходит распад g_2 -фазы. Фаза g_1 распадается при температуре ниже 320 °C. Рентгенограммы фольг, отожженных при 320 °C, содержат только дифракционные линии алюминия и германия,

интенсивности которых выше, чем на рентгенограммах неотожженных фольг. Таким образом, при отжиге фольг сплавов системы Al-Ge, содержащих более 3,2 ат. % Ge, происходит распад пересыщенного твердого раствора и метастабильных фаз.

Металлографические исследования фольг, содержащих 3,2 ат. % Ge, отожженных при 320 °С в течение 8 часов, показали увеличение среднего размера зерна. Средний размер зерна отожженных фольг составил 15 мкм, что примерно в 4 раза больше по сравнению с неотожженными фольгами. Это указывает на протекание рекристаллизационных процессов. Из таблицы 1 видно, что отжиг фольг незначительно влияет на текстуру. Для быстротвердевших фольг алюминия рекристаллизация происходит при 200 °С [4]. Легирование алюминия германием задерживает начало данного процесса примерно на 100 °С.

Следовательно, уменьшение микротвердости выше температуры отжига 200 °С связано с распадом пересыщенного твердого раствора и метастабильных фаз, а также с протеканием рекристаллизации.

Таким образом, быстротвердевшие фольги сплавов системы Al-Ge имеют микрокристаллическую структуру со слабо выраженной текстурой [111]. Легирование сплава алюминия германием способствует увеличению микротвердости фольг, что связано с образованием пересыщенного твердого раствора, мелкодисперсных выделений фаз и измельчением зеренной структуры. Отжиг до 200 °С приводит к увеличению микротвердости фольг с содержанием германия выше 2,4 ат. %, что связано с образованием кластеров Ge. Отжиг быстротвердевших фольг сплавов системы Al-Ge вызывает увеличение среднего размера зерна, распад пересыщенного твердого раствора и метастабильных фаз, что объясняет уменьшение микротвердости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lavernia E.J., Ayers J.D., Srivatsan T.S. Rapid solidification processing with specific applications to aluminum alloys // *Int. Mater. Rev.* — 1992, v. 37, № 1, — P. 1–44.
2. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого остояния. — М.: Металлургия, 1982. — 168 с.
3. Коваленко В.С. Металлографические реактивы. — М.: Металлургия, 1970.
4. Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Рекристаллизация быстротвердевших фольг алюминия // *Вестник БГУ*, сер. 1. — 2000.
5. Ташпыкова-Бушкевич И.И., Шепелевич В.Г., Гутько Е.С. Метастабильные фазы в быстротвердевших слабелегированных сплавах системы Al-Ge // *Физика и химия обработки металлов*. — 2002. — № 3 — С. 79–85.
6. Хачатурян А.Г. Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. — М.: Наука, 1974. — 384 с.
7. Гинье А. Неоднородные металлические твердые растворы. — М.: Изд-во иностр. лит., 1962. — 158 с.