

Системы дренажа с колпачками из ПСМ типа ЭПС-М внедрены на предприятиях Брестэнерго и Могилевэнерго.

УДК 669.715:548.735

ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГАХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ

Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г.
*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

При сверхбыстрой закалке металлов из жидкой фазы создается структура, существенно отличающаяся от структуры, формируемой при кристаллизации в условиях, близких к равновесным [1]. Быстрое затвердевание металлов и сплавов приводит к измельчению зерен, уменьшению размеров выделений, расширению границ растворимости и образованию метастабильных кристаллических, а при определенных условиях — и аморфных фаз [2]. При нагреве быстрозатвердевших алюминиевых сплавов происходят фазовые превращения, связанные с распадом пересыщенного твердого раствора, растворением метастабильных и выделением стабильных фаз. В данной работе представлены результаты исследования фазообразования быстрозатвердевших фольг сплавов Al-Ge, Al-Fe, Al-Ni, Al-Mn и Al-Zn, а так же изменение их фазового состава при отжиге.

Быстрозатвердевшие фольги получали выплескиванием капли расплава требуемого состава на внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Толщина фольг находилась в пределах от 10 до 100 мкм. Для исследования использовались фольги толщиной 30-80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [1], порядка 10^6 К/с. Фазовый состав изучали методом рентгеноструктурного анализа. Съемка образцов проводилась в медном излучении на дифрактометре ДРОН-3.

Результаты рентгеноструктурного анализа для фольг сплавов Al — 3,2 ат. %, 5 ат. %, 10 ат. % Ge показывают, что наряду с дифракционными линиями алюминия и германия имеются дополнительные дифракционные линии, принадлежащие γ -фазам. Обнаруженные γ -фазы являются метастабильными γ_1 - и γ_2 -фазами с ромбоздрической ($a=0,7672$ нм, $d=96,55^\circ$) и моноклинной ($a=0,6734$ нм, $b=0,5818$ нм, $c=0,4282$ нм, $d=88,96^\circ$) ячейками [3].

Быстрозатвердевшие сплавы алюминия с 5 и 10 ат.% Ge подверглись отжигу при температурах 160 и 320°C. На рентгенограммах сплавов, отожжен-

ных при 160°C, отсутствуют какие-либо отличия по сравнению с неотожженными фольгами. Интенсивность линий твердого раствора на основе алюминия, германия и γ -фаз по сравнению с рентгенограммами неотожженных образцов практически не меняется. Рентгенограммы фольг, отожженных при 320°C, содержат только дифракционные линии алюминия и германия, интенсивность которых выше, чем на рентгенограммах неотожженных фольг. Таким образом при отжиге быстрозатвердевших сплавов Al-Ge в интервале температур от 160 до 300°C происходит распад пересыщенного твердого раствора германия в алюминии и метастабильных фаз. Установленный нами температурный интервал распада γ -фаз согласуется с температурами начала распада фаз γ_1 и γ_2 , полученными для массивных образцов [4].

Рентгеноструктурный анализ исходных образцов быстрозатвердевших фольг сплавов Al-Fe, содержащих до 1,5 ат.% Fe, выделений второй фазы не обнаружил. Установлено, что при нагреве до 100°C происходит изменение параметра элементарной ячейки, что указывает на начало распада пересыщенного твердого раствора на основе алюминия. Отжиг фольги сплава Al-1,5 ат.% Fe при 230°C в течение двух часов вызывает появление дополнительных дифракционных отражений на рентгенограммах, по положению которых определялись межплоскостные расстояния новой фазы (d_s), приведенные в таблице 1. Там же представлены величины межплоскостных расстояний (d_r), рассчитанные для метастабильной фазы Al_6Fe , имеющий ромбическую кристаллическую решетку с параметрами элементарной ячейки $a=0,6492$ нм, $b=0,7437$ нм, $c=0,87885$ нм [5]. Совпадение d_s и d_r указывает на то, что при распаде твердого раствора Al-Fe происходит сначала выделение метастабильной фазы Al_6Fe .

Таблица 1

**Экспериментально определенные и рассчитанные
межплоскостные расстояния фазы Al_6Fe**

d_s , нм	0,3640	0,3422	0,2138	0,2080	0,1832
d_r , нм	0,3639	0,3425	0,2137	0,2078	0,1829
индексы плоскостей	(102)	(021)	(222)	(310)	(321)

Отжиг фольг сплавов Al — 1 и 2 ат.% Fe в интервале температур 400–500°C приводит сначала к уменьшению интенсивностей дифракционных линий метастабильной фазы Al_6Fe , а затем к их исчезновению. Одновременно происходит проявление новых дифракционных линий, которые принадлежат стабильной фазе Al_3Fe , имеющей моноклинную

кристаллическую решетку с параметрами $a=1,552$ нм, $b=0,8099$ нм, $c=1,2501$ нм и $\alpha=107^\circ 43$.

Быстрозатвердевшие фольги сплавов системы Al-Ni, содержащие от 0,3 до 1,2 ат.% никеля, состоят из пересыщенного твердого раствора алюминия и выделений стабильной интерметаллической фазы Al_3Ni , имеющий ромбическую решетку с параметрами элементарной ячейки $a=0,6611$ нм, $b=0,7360$ нм, $c=0,4900$ нм. Достижимая растворимость никеля в твердом растворе алюминия достигает $\sim 0,4$ ат.%, что значительно превышает его равновесную растворимость при комнатной температуре. Нагрев быстрозатвердевших фольг выше температуры $100^\circ C$ вызывает уменьшение параметра элементарной ячейки твердого раствора алюминия, что указывает на начало его распада. Отжиг выше $260^\circ C$ выявил усиление интенсивности дифракционных линий фазы Al_3Ni , а при температуре отжига $480^\circ C$ наблюдается ослабление и усиление других ее дифракционных линий. Это указывает как на выделение данной фазы при распаде пересыщенного твердого раствора, так и на протекающие процессы коалесценции ее частиц [6].

Основной фазой быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Mn, содержащих от 0,5 до 2 ат.% Mn, является пересыщенный твердый раствор на основе алюминия. Достижимая растворимость марганца в алюминии, как показали исследования зависимости параметра элементарной ячейки твердого раствора от состава, достигает 1,5 ат.%. Рентгеноструктурные исследования не обнаружили дифракционных линий, принадлежащих другим фазам. Изохронный отжиг фольг сплавов Al — 2 ат.% Mn в интервале от 100 до $300^\circ C$ вызывает незначительное уменьшение параметра элементарной ячейки, однако при нагреве выше $300^\circ C$ происходит его существенное увеличение. Отжиг при $300^\circ C$ вызывает появление дополнительных дифракционных отражений на рентгенограммах, которые принадлежат стабильной фазе Al_6Mn , имеющей ромбическую структуру с параметрами элементарной ячейки $a=0,6498$ нм, $b=0,7552$ нм, $c=0,7779$ нм.

На рентгенограммах исходных быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Zn, содержащих от 1 до 4 ат.% Zn, наблюдаются только дифракционные линии твердого раствора на основе алюминия. Нагрев фольг сплавов Al — 2 и 4 ат.% Zn до $300^\circ C$ не привел к каким-либо изменениям в структуре сплавов. Рентгеноструктурный анализ, отожженных фольг при температурах $300^\circ C$ и выше, обнаружил появление дополнительных дифракционных линий, принадлежащих цинку, что обусловлено распадом пересыщенного твердого раствора алюминия.

Таким образом, в фольгах бинарных сплавов алюминия, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы, основной фазой является пересы-

ценный твердый раствор на основе алюминия, в котором могут присутствовать выделения стабильных и метастабильных фаз. Отжиг быстрозатвердевших фольг вызывает распад пересыщенного твердого раствора, а также растворение и выделение фаз. Температура начала выделения фаз и их стабильность зависят от легирующего элемента.

Литература

1. Мирошнеченко И.С. Закалка из жидкого состояния — М.: Металлургия, 1982. — 168 с.
2. Lavernia E.J., Ayers J.D., Srivatsan T.S. Rapid solidification processing with specific applications to aluminium alloys. *Int. Mater. Rev.*, 1992, v.37, 1, p.1–44.
3. Ташлыкова-Бушкевич И.И., Шепелевич В.Г, Гутько Е.С.. Метастабильные фазы в быстрозатвердевших слабелегированных сплавах системы Al-Ge. *Физика и химия обработки металлов*, 2002, № 3., с. 79–85.
4. Ojha S. N. Undercooling and metastable phase formation in Al-Ge alloys. *Z. Metallkunde*, 1991, Bd. 82, 1, S. 41–47.
5. Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Fe. Сб. н. тр. «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения». Изд-во ПГУ. 2001. с.162.
6. Василевич Е.Ю., Шепелевич В.Г. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы Al-Ni. Сб. н. тр. *Машиностроение*. 2001, вып. 17, с.256–260.

УДК 621.762

ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЛИННОМЕРНЫХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Богинский Л.С., Петюшик Е.Е., Божко Д.И., Якубовский А.Ч.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Области применения порошковых материалов с развитием техники и технологии постоянно расширяются. Часто предпочтение отдается керамическим материалам на основе оксидов и карбидов, обладающим комплексом высоких эксплуатационных свойств: высокой жаро- и износостойкостью,