

## СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zn–Cd И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИ ОТЖИГЕ

Лозенко В. В., Шепелевич В. Г.

Белорусский Государственный Университет  
220050, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 4

Сверхбыстрая закалка из расплава позволяет повысить растворимость легирующих элементов, а также получать сплавы с более мелкозернистой структурой и однородным распределением компонентов, что значительно улучшает технические характеристики материала, но приводит к образованию неустойчивой микрокристаллической структуры, которая изменяется в процессе термической обработки [1]. Цинковые сплавы отличаются хорошими механическими и технологическими свойствами, в связи с чем они находят широкое применение в разных областях техники. Сплавы цинка с алюминием, медью, магнием используют в качестве литейных, антифрикционных, деформируемых сплавов, а сплавы с оловом и кадмием для создания припоев [2]. Но, несмотря на это, о влиянии сверхбыстрой закалки на их структуру и физические свойства известно немного [3, 4]. В связи с этим представляется актуальным исследование стабильности структуры и механических свойств быстрозатвердевших фольг системы Zn–Cd, содержащих до 8 ат.% Cd.

Исследуемые в работе фольги получались сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы кристаллизацией капли расплава на внутренней поверхности быстровращающегося медного цилиндра. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [5], была порядка  $10^6$  К/с. Толщина фольг составляла 30...80 мкм. Исследование поверхностной структуры фольг и их поперечного сечения проводилось на растровом электронном микроскопе LEO 1455 VP. Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном медном излучении. Текстура фольг изучалась методом “обратных” полюсных фигур. Полюсные плотности дифракционных линий  $p_{hkl}$  0002, 10 $\bar{1}$ 0, 10 $\bar{1}$ 1, 10 $\bar{1}$ 2, 10 $\bar{1}$ 3, 11 $\bar{2}$ 0, 11 $\bar{2}$ 2 и 20 $\bar{2}$ 1 рассчитывались по методу Харриса [6]. Измерения параметра элементарной ячейки кристаллической решетки  $c$  проведены по положению дифракционной линии 0006, для этой же линии рассчитано физическое уширение  $\beta$ . Относительная погрешность определения  $c$  составляла около 0,01 %. Величина физического уширения дифракционной линии фольг сплавов рассчитана по формуле  $\beta = \frac{1}{2}(B - b + \sqrt{B(B - b)})$ , где  $B$  и  $b$  ширина дифракционной линии образца и эталона соответственно. Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) определялись по эффекту первичной экстинкции. Микротвердость фольг  $H_\mu$  по Виккерсу исследовалась с помощью микротвердомера ПМТ-3. Прилагаемая нагрузка составляла 20 г, время выдержки – 15 секунд. Изохронный отжиг исследуемых фольг проводился последовательно в температурном интервале 20...260 °С с интервалом в 20 °С и выдержкой 20 мин для каждой температуры. Погрешность измерения  $H_\mu$  составляла не более 5 %.

Для исследования стабильности быстрозатвердевших фольг, они были подвержены изохронному отжигу. Кривые изменения микротвердости при изохронном отжиге для всех сплавов подобны (рис. 1). Отжиг фольг до температуры 60 °С не оказывает влияния на микротвёрдость. При нагреве выше указанной температуры происходит уменьшение  $H_\mu$ , что можно связать с распадом пересыщенного твердого раствора и укрупнением частиц второй

фазы. При температурах отжига выше 160 °С значения микротвердости достигают насыщения для фольг всех исследуемых сплавов.

Уменьшение значения параметра кристаллической решетки  $c$  в результате отжига (рис. 2) также свидетельствует о распаде пересыщенного твердого раствора на основе цинка.

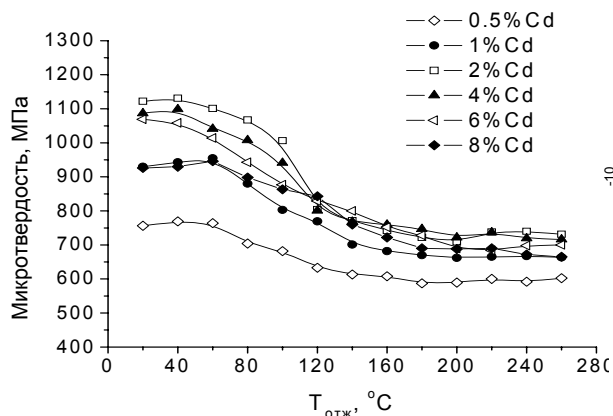


Рис. 1. Изменение микротвердости  $H_{\mu}$  быстрозатвердевших фольг сплавов системы Zn–Cd при изохронном отжиге

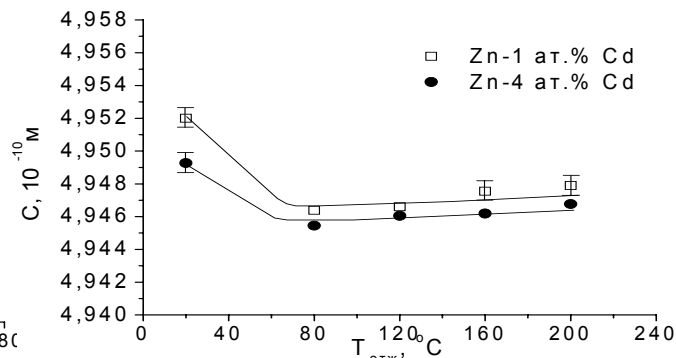


Рис. 2. Изменение параметра кристаллической решетки  $c$  быстрозатвердевших фольг на основе цинка, содержащих 1 и 4 ат.% Cd при изохронном отжиге

Электронно-микроскопические исследования показали, что быстрозатвердевшие фольги имеют микрокристаллическую структуру, а также выявили наличие включений второй фазы, как со стороны прилегающей к кристаллизатору А, так и с противоположной

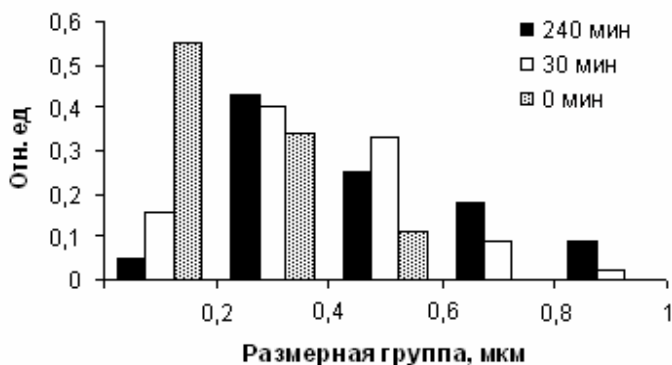


Рис. 3. Распределение частиц кадмия по размерным группам в Zn–4 ат.% Cd на стороне фольги А, отожженной при 120 °С

сторона Б, выделяющиеся более светлыми пятнами на фоне темного твердого раствора. Частицы второй фазы, как показал рентгеноспектральный микроанализ, соответствуют кадмию. Выделения имеют равноосную форму и локализуются преимущественно по границам зерен и вблизи них. В исходных фольгах сплава Zn–4 ат.% Cd размеры наибольшего числа частиц не превышают 0,2 мкм.

Распределение частиц твердого раствора на основе Cd по размерным группам в фольгах Zn–4 ат.% Cd, отожженных при температуре 120 °С в течение 30 и 240 мин, представлены на рис. 3. Как видно, с увеличением времени отжига происходит рост крупных частиц второй фазы за счет растворения мелкодисперсных частиц. Наибольшая доля частиц приходится уже на размерную группу 0,2–0,4 мкм. В результате отжига средний размер выделившихся частиц кадмия увеличивается с 0,2 мкм для исходных фольг до 0,4 мкм после 30 мин отжига, после 240 мин он равен 0,5 мкм.

Исследуемые фольги характеризуются четко выраженной текстурой. Так, расчеты полюсных плотностей дифракционных линий показали, что наибольшим значением  $p_{hkl}$  характеризуется дифракционная линия 0002, что свидетельствует об образовании четко выраженной текстуры (0001). На долю данной ориентировки приходится около 95 % объема фольги. Причем данная текстура является стабильной, так как отжиг не приводит к значительным изменениям значений полюсных плотностей дифракционных линий.

Отжига быстрозатвердевших фольг сплава Zn–1 ат.% Cd приводит к незначительному росту ОКР с 0,27 мкм в исходных образцах до 0,30 мкм в отожженных. Считая, что дислокации располагаются преимущественно по границам субзерен, можно оценить величину плотности дислокаций в материале. Как показал расчет [7], ее величина в быстрозатвердевших фольгах при отжиге незначительно.

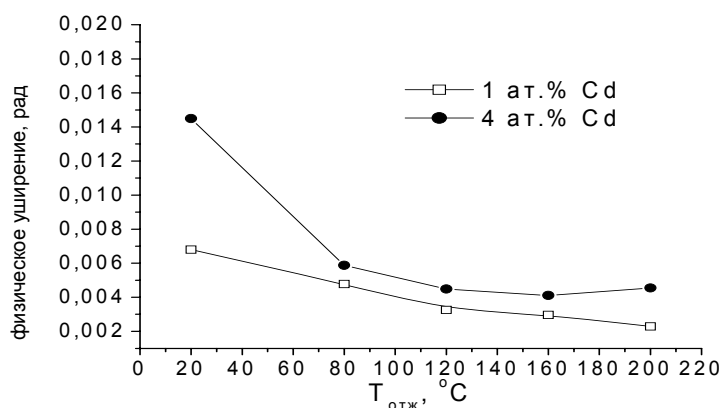


Рис. 4. Изменение параметра кристаллической решетки  $c$  быстрозатвердевших фольг на основе цинка содержащих 1 и 4 ат % Cd

Физическое уширение  $\beta$  дифракционной линии 0006 в результате изохронного отжига уменьшается (рис. 4). При данных размерах ОКР можно утверждать, что физическое уширение дифракционных линий вызывается в основном микродеформациями кристаллической решетки [8], относительная величина которых для сплава Zn–4 ат.% Cd уменьшается с 0,14 % до 0,04 %, соответственно для исходных и отожженных быстрозатвердевших фольг.

Таким образом, исследуемые быстрозатвердевшие фольги находятся в неустойчивом состоянии, что подтверждается изменением их структуры и микротвердости в результате изохронного отжига.

#### Список литературы

1. Митин Б. С., Васильев В. А. Порошковая металлургия аморфных и микрокристаллических материалов. – М.: Металлургия, 1993. – 127 с.
2. Тихонов Б. С. Прокатка цинка. – М.: Металлургия, 1963. – 200 с.
3. Митин Б.С., Фролов В. Д. и др. Влияние материала диска-кристаллизатора на упругие свойства металлокомпозиата, полученного экстракцией расплава // Физика и химия обработки материалов. – 1996. – №2. – С. 98–102.
4. W. Xu, D. Ma, Y.P. Feng and Y. Li. Observation of lamellar structure in a Zn-rich Zn-6.3at.% Ag hyper-peritectic alloy processed by rapid solidification // Scripta mater. – 2001. – Vol. 44. – P. 631–636.
5. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
6. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. – М.: Металлургия, 1969. – 654 с.
7. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу. М., 1961. – 864 с.
8. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электронографический анализ металлов. М., 1963. – 256 с.