

УДК (620.17+620.18):669.5

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОЛЬГ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЦИНКА, ПОЛУЧЕННЫХ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ РАСПЛАВА**В.В. ЛОЗЕНКО, д-р физ.-мат. наук, проф. В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ
(Белорусский государственный университет, Минск)**

Представлены результаты исследований морфологии, текстуры и микротвердости быстрозатвердевших фольг сплавов цинка с кадмием, алюминием и индием. Фольги систем Zn - Cd, Zn - Al, Zn - In имеют микроструктурную структуру. Выявлена ячеистая структура поверхностей фольг и наличие включений второй фазы. При легировании цинка кадмием и индием, а также в результате термической обработки фольг средний размер выделений увеличивается. В фольгах всех сплавов изучаемых систем формируется текстура (0001). Микротвёрдость быстрозатвердевших фольг сплавов на основе цинка зависит от концентрации легирующего компонента и температуры отжига.

Введение. В последнее время успешно развиваются методы получения материалов сверхбыстрым охлаждением из жидкого состояния (скорость охлаждения жидкой фазы превышает 10^5 К/с), что позволяет значительно повысить взаимную растворимость компонентов, изменить морфологию структуры, добиться измельчения структурных составляющих. Поэтому область применения материалов, полученных таким способом, заметно расширяется [1,2].

Сплавы на основе цинка имеют прикладное значение, так как могут быть использованы для создания припоев литейных подшипниковых антикоррозионных сплавов. Сплавы цинка с алюминием применяются для изготовления различных деталей машин и механизмов, требующих высокой прочности и износоустойчивости. Несмотря на такое широкое применение, вопрос о влиянии сверхбыстрой закалки на цинковые сплавы практически не изучен [3, 4]. В связи с этим важно знать, как меняются свойства и структура быстрозатвердевших фольг цинковых сплавов с изменением их состава и при термической обработке. Поэтому целью настоящей работы является исследование структуры и свойств сплавов цинка с кадмием, индием и алюминием, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава.

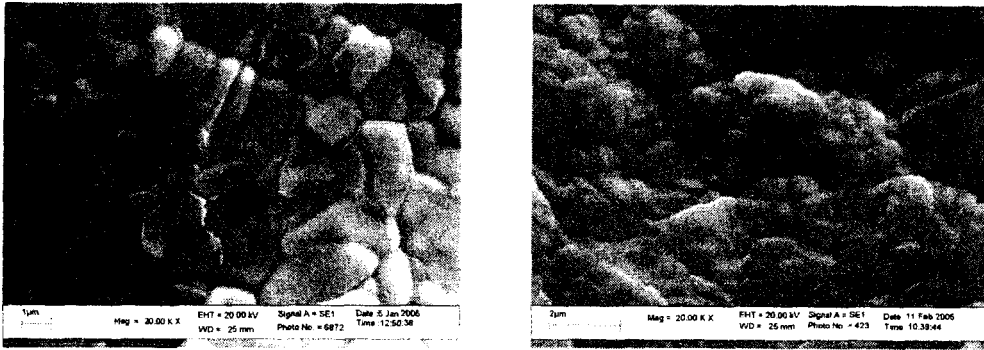
Методика эксперимента. Быстрозатвердевшие фольги были получены кристаллизацией капли расплава (~ 0,2 г), выплеснутой на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Линейная скорость поверхности цилиндра 15 м/с. Толщина используемых фольг составляла 30...80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [1], была не менее 10^6 К/с. Поверхность фольги, прилегающая к кристаллизатору, имеет зеркальный вид, и на ней наблюдаются впадины. Противоположенная сторона фольги - матовая и бугристая. Поверхностная структура образцов изучалась посредством растрового электронного микроскопа LEO 1455 VP. Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном медном излучении. Параметр кристаллической ячейки c рассчитывался по дифракционной линии 0006, относительная погрешность определения составляла около 0,01 %. Текстура фольг изучалась методом обратных полюсных фигур. Полносная плотность дифракционных линий 0002, 1010, 1011, 1012, 1013, 1120, 1122 и 2021 рассчитывалась по методу Харриса [5]. Микротвердость фольг H^{\wedge} по Виккерсу исследовалась с помощью микротвердомера ПМТ-3. Прилагаемая нагрузка составляла 20 г, время выдержки - 15 с. Изохронный отжиг исследуемых фольг проводился последовательно от комнатной температуры до 135, 240 и 260 °С соответственно для систем Zn - In, Zn - Al и Zn - Cd. Погрешность измерения H^{\wedge} составляла не более 5 %.

Результаты и их обсуждение. Электронно-микроскопические исследования выявили ячеистую структуру полученных фольг (рис. 1). Ячейки ярко выражены и наблюдаются на бугристой стороне фольги, а также в углублениях на гладкой, причем размер ячеек не зависит от стороны и изменяется в пределах 2...4 мкм.

На рис. 2 представлена зависимость параметра кристаллической решетки c от концентрации легирующего компонента в быстрозатвердевших фольгах сплавов системы Zn - Cd. Данная зависимость характеризуется наличием максимума при содержании 1 ат. % Cd. Линейное увеличение параметра c при малых значениях концентрации кадмия свидетельствует об образовании пересыщенного твердого раствора замещения на основе цинка, так как равновесная растворимость кадмия в цинке при комнатной температуре не превышает нескольких десятых процента. Последующее монотонное падение c связано с уменьшением степени пересыщения твердого раствора и выделением мелкодисперсных частиц второй фазы.

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги сплавов системы цинк - кадмий состоят из пересыщенного твердого раствора и мелких включений частиц кадмия. Были проведены аналогичные исследования для фольг систем Zn - Al и Zn - In, которые показали, что их состав подобен составу фольг, леги-

рованных кадмием - пересыщенный твердый раствор и мелкодисперсные частицы второй фазы при больших значениях концентрации.



а)

б)

Рис. 1. Структура поверхности фольг сплавов на основе цинка: а - бугристая сторона 1 ат. % Cd; б - гладкая сторона 2 ат. % In

Электронно-микроскопические исследования фольг сплавов систем Zn - Cd и Zn - In подтверди-
ли, что наряду с твердым раствором в фольгах присутствуют включения второй фазы, выделяющиеся

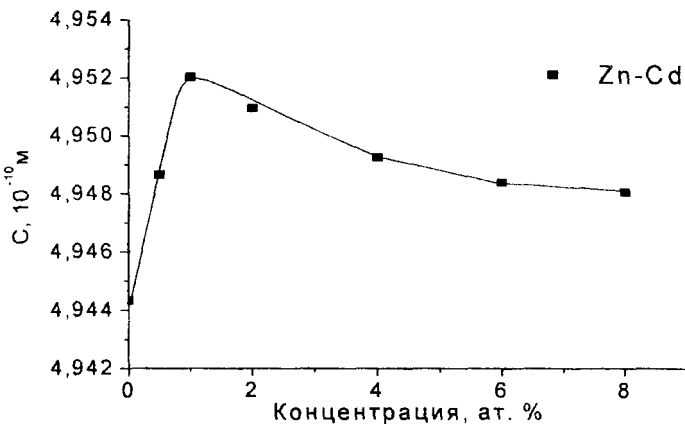


Рис. 2. Зависимость параметра кристаллической ячейки цинка от концентрации легирующего компонента

более светлыми пятнами на фоне темного твердого раствора. Частицы второй фазы, как показали исследования распределений компонентов в фольгах, соответствуют кадмию и индию соответственно для фольг, легированных кадмием и индием. Выделения имеют преимущественно равноосную форму и локализуются по границам ячеек или вблизи них. На участках фольг бинарных сплавов Zn - 4 ат. % Cd и In, свободных от выделений второй фазы, концентрация легирующих элементов меньше заданной и равняется 3,3 и 3,1 ат. % соответственно, что обусловлено выделением легирующего элемента из пересыщенного твердого раствора. Распределение частиц кадмия и индия в фольгах с содержанием 4 ат. % легирующего компонента по размерам представлено на рис. 3. Как видно, максимальная доля частиц принадлежит размерной группе 0,2...0,4 мкм, и с увеличением размера

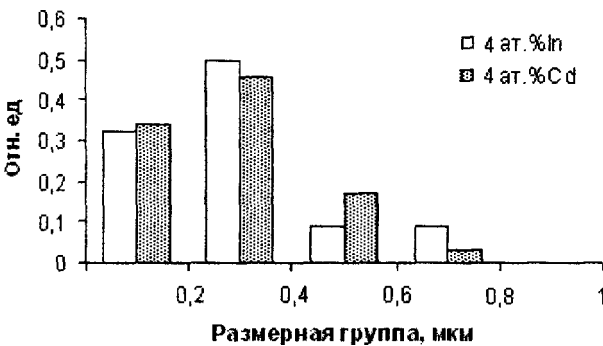


Рис. 3. Распределение выделившихся частиц по размерным группам в фольгах цинка на бугристой стороне фольги

выделений она уменьшается. Средний размер частиц включений составляет примерно 0,3 мкм. С увеличением времени отжига происходит рост крупных частиц второй фазы за счет растворения мелкодисперсных частиц: после 80 мин отжига средний размер равняется уже 0,4 мкм, после 240 мин - 0,5 мкм.

В таблице приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий для быстрозатвердевших фольг цинка и его бинарных сплавов, содержащих 2 ат. % Cd, In и Al. Наибольшее значение полюсной плотности принадлежит дифракционной линии 0002. Это свидетельствует о формировании текстуры (0001) в фольгах. На долю данной ориентировки приходится около 60 % объема фольги.

В таблице приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий для быстрозатвердевших фольг цинка и его бинарных сплавов, содержащих 2 ат. % Cd, In и Al. Наибольшее значение полюсной плотности принадлежит дифракционной линии 0002. Это свидетельствует о формировании текстуры (0001) в фольгах. На долю данной ориентировки приходится около 60 % объема фольги.

Полусные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг сплавов цинка

Дифракционные линии	Легирующий элемент			
	Zn	Zn-2 ат. % Cd	Zn-2 ат. % Al	Zn-2 ат. % In
0002	7,8	6,6	7,4	5,3
$10\bar{1}0$	0,1	0,2	0,1	0,2
$10\bar{1}1$	0,1	0,8	0,2	2,1
$10\bar{1}2$	0,0	0,1	0,0	0,1
$10\bar{1}3$	0,0	0,0	0,0	0,0
$11\bar{2}0$	0,0	0,1	0,1	0,1
$11\bar{2}2$	0,0	0,1	0,0	0,1
$20\bar{2}1$	0,0	0,1	0,2	0,1

Изменение микротвёрдости H_{μ} быстрозатвердевших фольг сплавов исследуемых систем в зависимости от концентрации легирующих элементов показано на рис. 4. Увеличение концентрации индия и алюминия в цинке приводит к монотонному возрастанию микротвёрдости фольг систем Zn – In и Zn – Al соответственно. Микротвёрдость фольг сплавов системы Zn – Cd с ростом концентрации кадмия сначала увеличивается, а затем уменьшается.

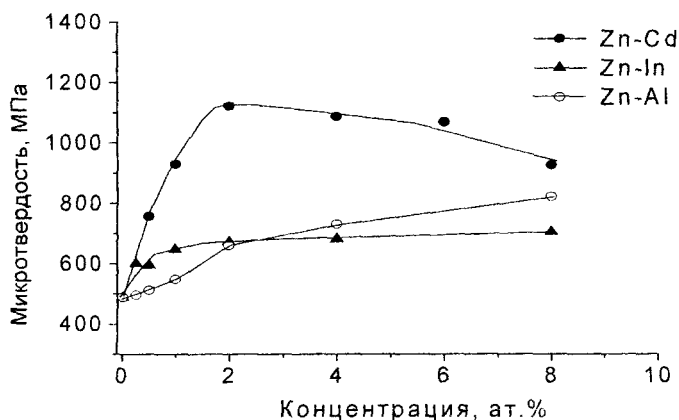


Рис. 4. Микротвёрдость быстрозатвердевших фольг

Микротвёрдость массивных образцов превышает соответствующие значения для фольг. Наблюдаемое явление объясняется разупрочняющим эффектом межзеренных границ в фольгах чистого цинка [6, 7], действие которого сохраняется и в сплавах, содержащих до 1 ат. % Cd и 2 ат. % Al.

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов находятся в неустойчивом состоянии, что подтверждается изменением их структуры и микротвёрдости при термической обработке. Отжиг фольг Zn-2 ат. % Cd до температуры 60 °C не оказывает влияния на микротвёрдость.

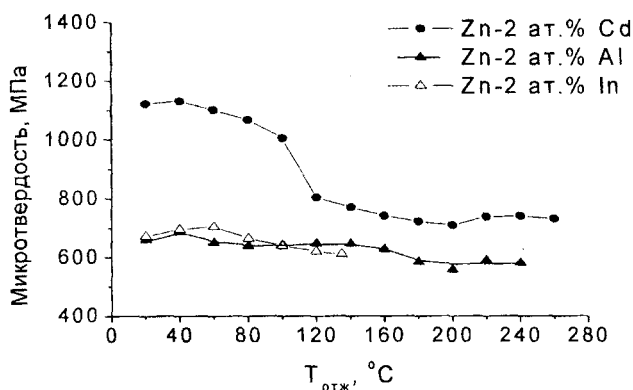


Рис. 5. Изменение микротвёрдости быстрозатвердевших сплавов на основе цинка затвердевших фольг сплавов на основе цинка при изохронном отжиге

При нагреве выше указанной температуры происходит уменьшение H_{μ} , что связано с распадом пересыщенного твердого раствора и укрупнением частиц второй фазы. При температурах отжига выше 160 °C значения микротвёрдости достигают насыщения. Изохронный отжиг фольг сплавов систем Zn – Al и Zn – In приводит к немонотонному изменению их микротвёрдости (рис. 5).

Выводы

Фольги сплавов систем Zn - Cd, Zn - Al и Zn - In, полученные сверхбыстрой закалкой из расплава, имеют микрокристаллическую структуру. В быстрозатвердевших фольгах цинка и его сплавов формируется текстура (0001). Фольги сплавов систем Zn - Cd и Zn - In состоят из пересыщенного твердого раствора и мелкодисперсных включений второй фазы. Микротвердость фольг исследуемых сплавов определяется концентрацией легирующего элемента и температурой отжига.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. - М.: Металлургия, 1982. - 168 с.
2. Калинин А.С., Бергман Г.В. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика. - Мн.: Технопринт, 2001. - 367 с.
3. Lin Z., Youshi W., Zhina X. Effects of quenching rate on microstructure of a rapidly solidified Zn - 5wt % Al alloy // J. Mater. Sci. Let. - 1999. - V. 18. - P. 1969 - 1972. -
4. Rapid solidification behavior of Zn-rich Zn-Ag peritectic alloys / W. Xu, Y. P. Feng, Y. Li et al. // Acta Mater. - 2002.-V. 50. -P. 183 - 193.
5. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. - М.: Металлургия, 1969. - 654 с.
6. Лозенко В.В., Шепелевич В.Г. Отжиг быстрозатвердевших фольг цинка // Быстрозакаленные материалы и покрытия: Докл. 3-й Всероссийской науч.-техн. конф. - М., 2004. - С. 14-17.
7. Solute induced near grain boundaries in zone refined metals / K.T. Aust, R.E. Hanneman, P. Niessen, J.H. Westbrook // Acta Mater. - 1968. - V. 16. - P. 291 - 302.