

ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА СПЛАВА Zn–2 мас.% Bi

М. В. Гольцев¹, Д. А. Зерница²,
А. С. Кляузо¹, В. Г. Шепелевич²

¹Белорусский государственный медицинский университет,
г. Минск

²Белорусский государственный университет, г. Минск

Сплавы на основе цинка активно применяются в различных отраслях промышленности. Основными легирующими элементами являются алюминий, медь, в меньшей мере – магний, олово. Благодаря легированию указанными элементами удается создать сплавы на основе цинка с хорошими механическими и технологическими характеристиками для изготовления различных изделий [1]. Влияние висмута на структуру и свойства цинка мало изучено, что связано с существованием на их диаграмме состояния области не смешивания двух жидких фаз [2]. Существование области расслоения жидких фаз приводит к нежелательному формированию микроструктуры, оказывающее влияние на физические свойства сплавов. Однако в последнее десятилетие установлено, что некоторые сплавы, в которых при определенных интервалах температур и концентраций происходит расслоение расплава на две жидкости [3], отличающиеся химическим составом, могут обладать важными свойствами. Например, сплавы системы Al–Bi, в которой могут существовать области не смешивания двух жидких фаз, используются для получения водорода при взаимодействии с водой [4–6]. В последние годы появились сообщения о целесообразности использования сплавов системы цинк–висмут для изготовления водных цинк-ионных электрических батарей

[7]. В связи с этим проведены исследования структуры и свойств домотектического сплава Zn–2 мас.% Bi.

Сплав Zn–2 мас.% Bi получен сплавлением исходных компонентов и последующей кристаллизацией в графитовой изложнице. Из средней части слитка вырезались образцы для исследования структуры и микротвердости. Исследование элементного и фазового состава проведено с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1455 VP, имеющем специальную приставку «HKL CHANNEL 5». Рентгеноспектральный микроанализ фольг сплава проведен с использованием детектора фирмы «Rontec». Металлографические исследования проводились методом случайных секущих. Изучение текстуры осуществлено методом обратных полюсных фигур. Микротвердость образцов измерена на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 г.

На дифрактограмме сплава Zn–2 мас.% Bi наблюдаются дифракционные отражения цинка (0002, 1010, 1011, 1012 и др.) и висмута (1012, 1014, 1Г20, 1015 и др.). Определены положения слабо выраженных дифракционных отражений при углах 2θ : $31,7^\circ$, $33,9^\circ$ и $47,5^\circ$, которые соответствуют дифракционным отражениям от плоскостей (1010), (2020) и (0Г12) окиси цинка ZnO.

В таблице приведены значения полюсных плотностей дифракционных отражений, которые свидетельствуют о формировании слабо выраженной текстуры {1013} + {2021} в литом сплаве.

Изображение структуры слитка, находящейся на различном расстоянии от его поверхности показана на рис. 1. Участок (рис. 1, а) расположен ближе к поверхности слитка, чем участок (рис. 1, б). На участке (рис. 1, а) наблюдаются шарообразные белые выделения диаметром $\approx 0,1$ мкм.

Полусные плотности дифракционных отражений цинка сплава Zn–2 мас.% Bi

Дифракционные отражения	Полусные плотности
0002	0,9
1010	0,9
1011	1,1
1012	0,8
1120	0,7
1013	1,5
1122	0,8
2021	1,3

Рентгеноспектральный анализ показал, что ими являются выделения висмута. В темных областях концентрация висмута практически равна нулю, а в областях, содержащих светлые выделения концентрация висмута достигает более 2%. На границах образуются более крупные белые выделения, диаметром $\approx 0,4$ мкм.

На участке (рис. 1, б) наблюдаются чередующиеся темные и светлые полосы, расположенные в пределах каждого зерна. Расстояние между светлыми полосами составляет 25–40 мкм, их толщина 5–20 мкм. Более детальная структура светлой полосы при больших увеличениях представлена на рис. 2. Белые полосы содержат большое количество дисперсных частиц висмута, диаметр сечений которых изменяется от 0,4 до 1 мкм. Выделения висмута формируют ячейки между соседними светлыми полосами, средний размер которых составляет ≈ 15 мкм.

Образование наблюдаемой структуры обусловлено

концентрационным переохлаждением расплава перед фронтом кристаллизации [8]. При перемещении фронта

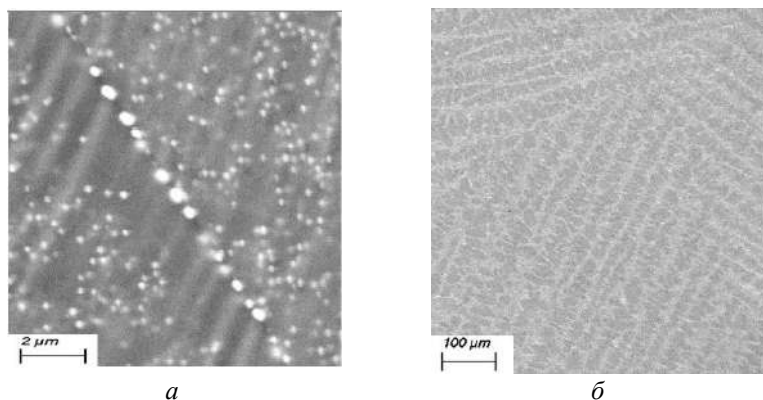


Рис. 1. Изображение микроструктуры сечения слитка, расположенного на различных расстояниях от его поверхности

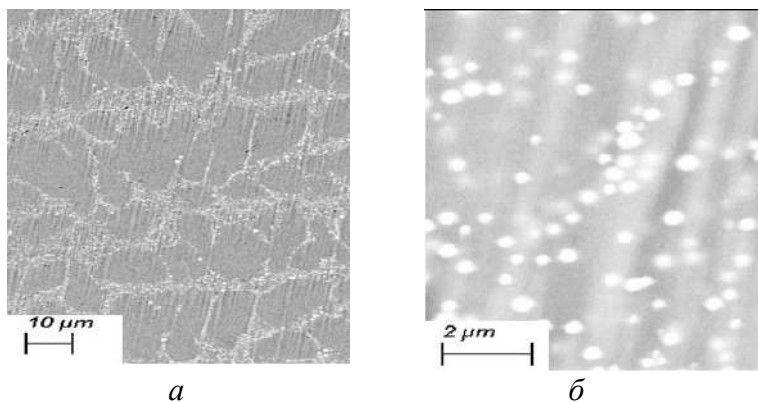


Рис. 2. Изображение структуры светлых полос при различных увеличениях

кристаллизации от поверхности слитка вглубь из-за ограниченной растворимости висмута в цинке происходит перераспределение компонентов вблизи межфазной границы. Область расплава, прилегающая к межфазной границе,

обогащается висмутом, что приводит к появлению выделений висмута в виде частиц, двухмерных ячеек с разным числом сторон шестиугольных ячеек.

Таким образом, в сплаве Zn–2 мас.% Bi образуется слабовыраженная текстура цинка {1013} + {2021}. В поперечном сечении слитка наблюдаются неоднородные распределения компонентов и структуры. Диаметр наблюдаемых выделений висмута в сплаве не превышают 1 мкм.

Это приводит к уменьшению концентрации висмута в объемах, находящимися между частицами висмута. При перемещении фронта кристаллизации от поверхности слитка вглубь, из-за ограниченной растворимости висмута, в цинке происходит перераспределение компонентов вблизи межфазной границы. Область расплава, прилегающая к межфазной границе, обогащается висмутом и возникает концентрационное переохлаждение, что приводит к появлению выделений висмута в виде частиц, двухмерных ячеек, а затем квадратных и шестиугольных ячеек.

Литература

1. Кечин В. А., Люблинский Е. Я. Цинковые сплавы . – М.: Металлургия. – 1986. – 247 с.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т.1 // Под общей ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение. – 1996. – 992 с.
3. Авраамов Ю. С., Шляпин А. Д. Сплавы на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии (теория, технология, структура, свойства). – М.: Интерконтакт науки. – 2002. – 371 с.
4. Кинетика и механизм коррозионного растрескивания алюминия / Л.Ф Козин [и др.] // Украинский химический журнал. – 2009. – Т.75. – № 11. – С. 3–11.
5. Structure of rapidly solidified Al–(0, 25–2,0) wt.% Bi

alloys / V. G. Shepelevich [et al.] // *Inorganic Materials. Applied Research*. – 2023. – Vol. – 14(3). – P. 720–723.

6. Шепелевич В. Г. Получение водорода при взаимодействии быстрозатвердевших фольг сплава из алюминиевого лома и висмута с водой // *Физика и химия обработки материалов*. – 2024. – Т. 15. – № 3. – С. 49–55.

7. Zin-Bismuth Binary Alloy Enabling High-Performance Aqueous Zinc Ion Batteries / Yirgiao Du [et al.] // *Small*. – 2024, April. – 20(17).

8. *Физическое металловедение*. Т. 2. // Под ред. Р. У. Кана и П. Ханзена. – М.: *Металлургия*. – 1987. – 656 с.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОСТРУКТУРЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Сборник научных статей

Минск 2025