

УДК 539.2:669(6-8)

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ТРОЙНОГО СПЛАВА Bi-19 МАСС.% Sn-28 МАСС. % In
Гольцев М.В.¹, Белая О.Н.¹, Шепелевич В.Г.²¹Белорусский государственный медицинский университет²Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлены результаты исследования микротвердости и текстуры сплава Bi-19 масс. % Sn-28 масс. % In, широко используемого в качестве низкотемпературных припоев. Показана зависимость микротвердости от скорости охлаждения расплава и нагрузки, используемой при измерении микротвердости. Изменения микротвердости быстрозатвердевших фольг обусловлено протеканием рекристаллизационных процессов, вызывающих укрупнение структуры.

Ключевые слова: высокоскоростное затвердевание, фольга, микротвердость.

THE STRUCTURE AND MICROHARDNESS OF THE TRIPLE
ALLOY Bi-19 MASS.% Sn-28 MASS. % In
Goltsev M.V., Belaya O.N., Shepelevich V.G.¹ Belorussian State Medical University² Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of studies of the structure and microhardness of foil alloys Bi-19 mass. % Sn-28 mass. % In obtained by high-speed cooling from the liquid phase are presented. The foil alloy Bi-19 mass. % Sn-28 mass. % In widely used as low-temperature solders. The dependence of the microhardness on the rate of cooling of the melt and the load used in the measurement of microhardness is shown. Changes in the microhardness of rapidly cooled foil are due to the course of recrystallization processes that cause enlargement of the structure.

Key words: high speed solidification, foil, microhardness.

Адрес для переписки: Белая О.Н., пр. Дзержинского, 83, г. Минск, 220116, Республика Беларусь
e-mail: olnikbel@yandex.ru

Введение. Многокомпонентные сплавы системы Bi-Sn-In используются в качестве низкотемпературных припоев. Их физические свойства зависят от химического состава и структуры, формируются в процессе синтеза и термообработки [1; 2]. В связи с этим проведено исследование микротвердости сплава Bi-19 масс.% Sn-28 масс. % In, изготовленного при различных способах охлаждения.

Методика эксперимента. Сплав, содержащий 53 масс. % Bi, 19 масс.% Sn, 28 масс. % In изготовлен сплавлением компонентов при температуре 300 °С при различных скоростях охлаждения 10^5 , 10^2 , 10^{-2} и 10^{-3} К/с. Исследование микроструктуры проведено с помощью микроскопа LE 1455 VP, имеющего приставку для проведения рентгеноструктурного микроанализа. Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре Riguka Ultimat IV. Полусные плотности дифракционных линий рассчитаны методом обратных полюсных фигур. Измерения микротвердости выполнены на приборе ПМТ-3. Погрешность измерения микротвердости составила не более 4 %.

Результаты и их обсуждение. Изображение микроструктуры образцов, изготовленных при разных скоростях охлаждения расплава, представлены на рисунке 1.

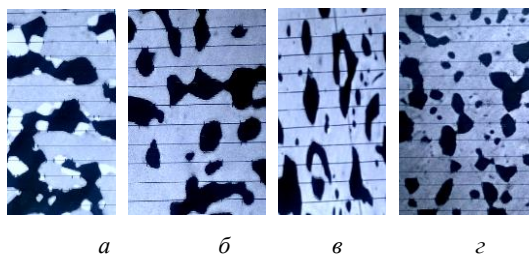


Рисунок 1 – Микроструктура тройного сплава Bi-Sn-In, изготовленных при скоростях охлаждения расплава 10^{-3} (а), 10^{-2} (б), 10^2 (в) и 10^5 (г) К/с

С увеличением скорости охлаждения межфазная граница твердого раствора висмута и ϵ -фазы и твердого раствора олова и висмута уменьшаются, и твердого раствора олова и ϵ -фазы увеличиваются, что обусловлено уменьшением объемной доли твердого раствора висмута в исследуемом сплаве.

Зависимости микротвердости сплава, изготовленного при различных условиях от нагрузки и скорости охлаждения представлена на рисунках 2 и 3.

С уменьшением скорости охлаждения расплава и увеличением величины нагрузки наблюдается возрастание микротвердости. Увеличение скорости охлаждения расплава приводит к измельчению микроструктуры, что обуславливает увеличение границ зерен и фаз, являющихся зонами пониженной прочности.

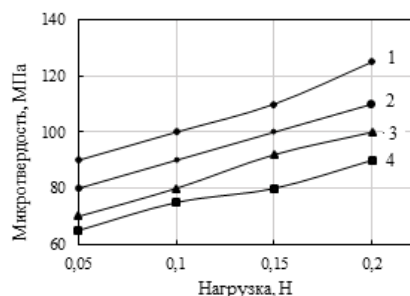


Рисунок 2 – Зависимости микротвердости сплава от нагрузки при различных скоростях охлаждения: 1 – 10^{-3} К/с, 2 – 10^{-2} К/с, 3 – 10^2 К/с, 4 – 10^5 К/с

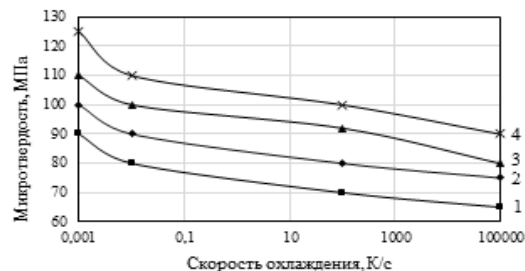


Рисунок 3 – Зависимость микротвердости сплава от скорости охлаждения при различных нагрузках: 1 – 0,05 Н, 2 – 0,1 Н, 3 – 0,15 Н, 4 – 0,2 Н

На рисунке 4 представлена зависимость сплава, полученного при скорости охлаждения 10^5 К/с, от времени отжига при температуре 70°C . Сначала с увеличением времени отжига микротвердость монотонно увеличивается, а затем после 20 ч отжига значение микротвердости достигает постоянного значения, равного 87 МПа. Температура отжига выше $0,5 T_{\text{пл}}$ ($T_{\text{пл}}$ – температура плавления фаз, входящих в сплав). Поэтому при этой температуре 70°C происходят диффузионные процессы, в результате которых улучшается структура границ зерен и фаз, что препятствует деформированию сплава, т. е. вызывает увеличение микротвердости. Также при данной температуре может происходить увеличение размера зерен и выделений фаз, что также способствует увеличению микротвердости.

Изменения полюсных плотностей дифракционных отражений, соответствующих текстурам фаз, указывает на протекание рекристаллизационных превращений в сплаве при отжиге. Но их значения значительно превосходят полюсные плотности других дифракционных линий, что свидетельствует о сохранении наблюдаемых текстур при отжиге.

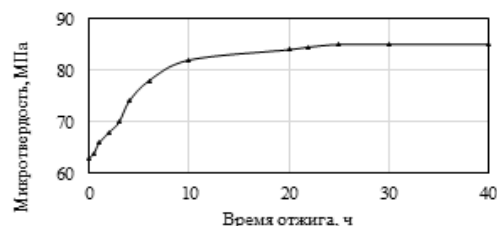


Рисунок 4 – Изменение микротвердости быстротвердевших фольг сплава Bi-Sn-In в процессе изотермического отжига при 70°C

В исследуемых образцах сплава наблюдается текстура его фаз: твердого раствора висмута (0009), твердого раствора олова (200) и ϵ -фаза (202). Полюсные плотности соответствующих дифракционных отражений для каждой из фаз до и после отжига при 70°C в течение 5 и 12 часов приведены в таблице.

Таблица. Полюсные плотности дифракционных линий твердых растворов висмута и олова, а также ϵ -фазы

Фаза, отражение	Исходное состояние	Отжиг 5 ч при 70°C	Отжиг 20 ч при 70°C
Твердый раствор висмута, (0009)	2,4	1,8	3,8
Твердый раствор олова, (200)	4,3	4,5	4,3
ϵ -фаза, (202)	3,9	3,2	4,5

Выводы. Таким образом, микротвердость сплава Bi-19 масс.% Sn-28 масс.% In зависит от скорости охлаждения расплава и нагрузки, используемой при измерении микротвердости. Микротвердость быстротвердевших фольг при отжиге 70°C монотонно увеличивается и стабилизируется через 20 ч выдержки при температуре 70°C . Изменения микротвердости быстротвердевших фольг обусловлено протеканием рекристаллизационных процессов, вызывающих укрупнение структуры.

Литература

- Шепелевич, В.Г. Быстротвердевшие легкоплавкие сплавы / В.Г. Шепелевич. – Минск : БГУ, 2015. – 192 с.
- Белая, О.Н. Структура и свойства припоев на основе свинца, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава / О.Н. Белая, В.Г. Шепелевич // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серія фізіка-тэхнічных навук. – 2006. – № 1. – С. 40–43.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ**

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ**

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ – 2023

**Материалы
16-й Международной научно-технической конференции**

15–17 ноября 2023 года
Минск, Республика Беларусь

**Минск
БНТУ
2023**