

**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТРОЙНОГО СПЛАВА $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$
Шепелевич В.Г., Русак Г.А., Росихин М.И.**

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

В последнее десятилетие активно происходит переход к легкоплавким припоям, не содержащим опасные компоненты (свинец, ртуть, кадмий). Основными причинами являются как экологическая безопасность, так и более высокие эксплуатационные параметры таких припоев [1; 2]. В различных отраслях промышленности (электротехнике, электронике, энергетике, машиностроении и др.) перспективное применение имеют сплавы тройной системы Bi – Sn – In. Из-за высокой стоимости компонентов сплавов рассматриваемой системы целесообразно изготавливать используя энерго- и ресурсосберегающие технологии для понижения стоимости конечного продукта. К таким технологиям относится высокоскоростное затвердевание, при котором скорость охлаждения жидкой фазы достигает 10^5 К/с и выше. Структура сплава, получаемого при сверхвысоких скоростях охлаждения жидкости, существенно отличается от структуры массивных образцов, получаемых традиционными технологиями [3, 4]. Быстрозатвердевшие сплавы имеют дисперсную структуру, могут содержать метастабильные фазы, находятся в термодинамическом неустойчивом состоянии. В связи с этим цель настоящей работы – установление влияния сверхвысокой скорости охлаждения жидкой фазы сплава $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$ на его фазовый состав, распределение компонентов, зерненую структуру и микротвердость.

Изготовление сплава $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$ осуществлялось сплавлением компонентов, чистота которых не хуже 99,99 %, в кварцевой ампуле. Затем капля расплава массой $\approx 0,15$ г инжигировалась на полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра, растекалась тонким слоем и затвердевала в виде фольги. Длина фольги достигала в длину 15 см, в ширину – до 10 мм. При исследовании использовались фольги толщиной 30–80 мкм. Скорость охлаждения составляла в этом случае не менее 10^5 К/с.

Микроструктура фольг и распределение компонентов исследовались с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1455 VP, оснащенного рентгеновским микроанализатором Aztec Energy Advanced X-Max 80. Фазовый состав фольг определялся рентгеноструктурным анализом на дифрактометре Rigaku Ultima 4. Параметры микроструктуры определены методом случайных секущих [5] с погрешностью 10 %.

Поверхность *A* быстрозатвердевшей фольги, контактирующая с медным кристаллизатором, имела блестящий вид. Противоположная поверхность *B* фольги имела матовый вид, на ней образовались впадины и выступы

Химический состав фольги определялся с помощью рентгеноспектрального микроанализа на обеих сторонах фольги (таблица 1). Различие между концентрациями компонентов не превышает 1 %, т.е. при перемещении межфазной границы «жидкость-кристалл» от поверхности *A* к поверхности *B* перераспределение компонентов не наблюдается.

Таблица 1 – Химический состав быстрозатвердевшей фольги

Компонент,	Концентрация компонентов, ат. %	
	Поверхность <i>A</i>	Поверхность <i>B</i>
In	41,4	40,6
Sn	26,8	27,3
Bi	31,8	32,1

Рентгеноструктурный анализ фольги выявил дифракционные линии ϵ -фазы (BiIn) (101, 111, 200, 002, 102, 211 и др.) и γ -фазы (Sn₄In) (0001, 10 $\bar{1}$ 1, 10 $\bar{1}$ 0, 11 $\bar{2}$ 0, 0002, 11 $\bar{2}$ 1, 20 $\bar{2}$ 0 и др.).

Изображение поперечного сечения фольги, полученное с помощью растрового электронного микроскопа, представлено на рис. 1. Наблюдаются светлые и темные участки.

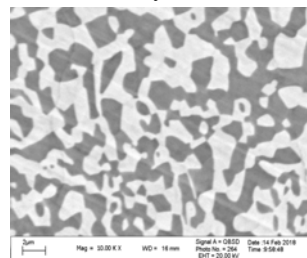


Рисунок 1 – Поперечное сечение фольги сплава $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$ через 24 ч выдержки при комнатной температуре

Распределение компонентов быстрозатвердевшей фольги сплава $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$ вдоль линии сканирования электронного луча по ее поверхности представлено на рис. 2.

В светлых участках отношение атомных концентраций висмута и индия составляет ≈ 1 , что соответствует образованию ϵ -фазы (BiIn). Концентрация олова в таких участках составляет 2 ... 4 ат.%. В темных участках отношение атомных концентраций олова, индия и висмута равно 58, 31 и 11 соответственно. γ -фаза (Sn₄In) имеет простую гексагональную решетку и существует в широком концентрационном интервале, что способствует образованию на ее основе твердых растворов с другими компонентами [6]. В связи с этим можно считать, что темные участки соответствуют γ -фазе.

Используя методы стереометрической металлографии, определены объемная доля ϵ -фазы $V_\epsilon = 0,58$ и γ -фазы $V_\gamma = 0,42$. Исследовано влияние выдержки быстрозатвердевшей фольги сплава $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$ при комнатной температуре на параметры ее микроструктуры на поверхности A . С увеличением времени старения происходит монотонное изменение средней хорды случайной секущей d и удельной поверхности S межфазной границы (Таблица 2).

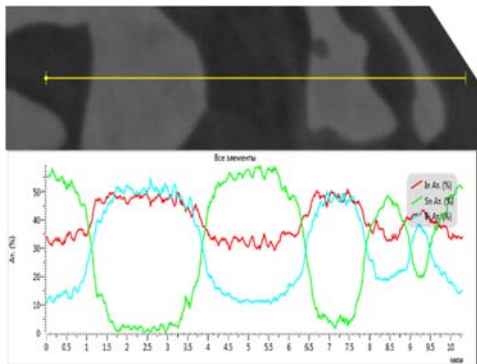


Рисунок 2 – Распределение компонентов вдоль линии сканирования электронного луча по поверхности фольги

Таблица 2. Параметры микроструктуры фольг на их поверхности от времени выдержки после изготовления

Время выдержки, ч	Объемная доля ϵ -фазы	Средняя длина хорд на ϵ -фазе, мкм	Удельная поверхность межфазной границы, мкм^{-1}
1,3	0,59	0,8	2,8
3,0	0,57	1,0	2,5
24	0,58	1,7	1,5
70	0,57	2,0	0,9

Выдержка фольги в течение 70 ч вызывает увеличение средней хорды до $d = 1,9$ мкм и уменьшение удельной поверхности межфазной границы до $S = 0,9$ мкм^{-1} . Такое изменение d и S фольги вызвано тем, что комнатная температура является высокой для исследуемого сплава. Отношение комнатной температуры к температуре ликвидуса исследуемого сплава в абсолютной шкале достигает 0,8. В сплаве активно происходят диффузионные процессы, способствующие

миграции межфазных границ, а также улучшению их структуры [8].

Заключение

Фольги тройного сплава $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$, полученные высокоскоростным затвердеванием, имеют двухфазную структуру: состоят из ϵ - и γ -фаз.

Выдержка фольг при комнатной температуре вызывает монотонное увеличение средней хорды на сечениях выделений и уменьшение удельной поверхности межфазной границы установленных фаз.

Формирование однородной дисперсной структуры способствует улучшению технологических характеристик данного спая при использовании его в качестве припоя [7].

Литература

1. Kamal M., Gouda E.S. Effect of Rapid Solidification on Structure and Properties of Some Lead-Free Solder Alloys // Materials and Manufacturing Processes, 2006. Vol. 21. P. 736–740.
2. Yoon S.W., Rho B.-S., Lee H. M., Kim C.-U., Lee B.-J. Investigation of the Phase Equilibria in the Sn-Bi-InAlloy System // Metall. Mater. Trans. A. 1999. Vol. 30A. P. 1503–1515.
3. Васильев В.А., Митин Б.С., Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технологии и материалы) / Под ред. Б.С. Митина. – М. : ИнтерметИнжиниринг, 1998. – 400 с.
4. Шепелевич В.Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы. – Минск : БГУ, 2015. – 192 с.
5. Салтыков С.А. Стереология в металлведении. – М. : Металлургия, 1976. – 272 с.
6. Смитлз К. Дж. Металлы. – М. : Металлургия, 1980. – 447 с.
7. Пашков И.Н., Пикунов М.В., Таволжанский С.А., Пашков А.И. Разработка процессов получения и применения сплавов припоев в дисперсионном состоянии с микрокристаллической или аморфной структурой // Металлург, 2010. – № 6. – С. 43–45.
8. Шепелевич В.Г., Ван Цзинцзе, Щербаченко Л.П. Фазовый состав, микроструктура и микротвердость быстрозатвердевших сплавов системы индий-олово // Новости науки и технологий, 2017. – № 1(40). – С. 48–53.

УДК 666.193

ИССЛЕДОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВОЙ ТКАНИ МЕТОДАМИ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ЭНЕРГОДИСПЕРСИННОГО МИКРОАНАЛИЗА

Анисович А.Г.¹, Маркевич М.И.¹, Чапланов А.М.¹, Журавлева В.И.², Щербакова Е.Н.³

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Введение

Базальтовые волокна значительно отличаются от стекловолокна и силикатного волокна повышенной прочностью и возможностью примене-

ния в широком диапазоне положительных и отрицательных температур. Удельная прочность базальтового волокна в 2,5 раза превышает прочность легированных сталей и в 1,5 раза