

В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Сплавы на основе системы Bi-Sn-In являются перспективными материалами для различных отраслей промышленности, что подтверждается исследованиями их микроструктуры, фазового состава и физических свойств. В работе представлены параметры микроструктуры тройного сплава $\text{Bi}_{26}\text{In}_{39}\text{Sn}_{35}$ (атомные проценты), состав которого незначительно отличается от эвтектики и полученного при скоростях охлаждения $\approx 10^2$ К/с, что представляет научный интерес и имеет прикладное значение.

Сплав $\text{Bi}_{26}\text{In}_{39}\text{Sn}_{35}$ изготовлен сплавлением компонентов в кварцевой ампуле, затем заливается в графитовую изложницу. Площадь квадратного поперечного сечения составляет 25 мм². Скорость охлаждения при таких условиях затвердевания равна $2 \cdot 10^2$ К/с.

На дифрактограмме наблюдаются дифракционные линии фаз: BiIn (110, 101, 200, 002, 102 и др.), Bi_3In_5 (211, 202, 220, 213 и др.) и Sn_4In (0001, $10\bar{1}0$, $11\bar{2}0$, 0002 и др.). Изображение микроструктуры сплава $\text{Bi}_{26}\text{In}_{39}\text{Sn}_{35}$, полученное с помощью растрового микроскопа, представлено на рис. 1. Структура имеет кружевоподобный вид. Дендритная структура не обнаружена. Наблюдаются светлые, серые и темные области.

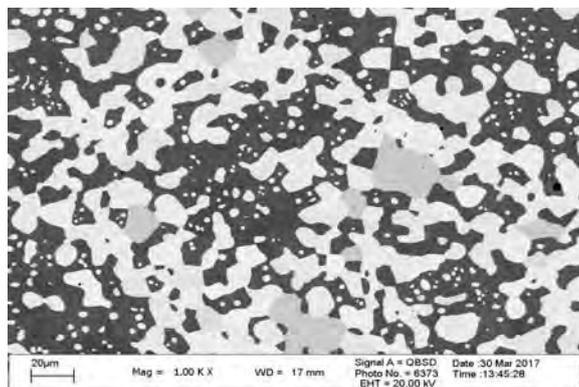


Рис. 1. Микроструктура образца сплава $\text{Bi}_{26}\text{In}_{39}\text{Sn}_{35}$

Средние значения концентраций компонентов в различных областях сплава определены рентгеноспектральным анализом и представлены в табл. 1. В светлых областях отношение атомных концентраций висмута и индия равно единице, а концентрация олова низкая, поэтому данная область соответствует фазе BiIn . Выделения BiIn однородны в объеме и имеют преимущественно выпуклые границы, что указывает на их первоочередную кристаллизацию. В серых участках отношение концентраций индия и висмута находится в пределах от 1,2 до 1,6, а концентрация олова составляет

несколько процентов. Можно предположить, что серые области состоят из смеси двух фаз: Bi_3In_5 и BiIn . В темных областях, имеющих преимущественно вогнутые границы и содержащие дисперсные более светлые выделения, образуется смесь фаз Sn_4In , BiIn и Bi_3In_5 . В темных областях концентрация висмута менее 10 %, а отношение концентраций олова и индия достигает двух. Фаза Sn_4In относится к фазам с переменным составом и имеет простую гексагональную кристаллическую решетку, в которой растворяется висмут при комнатной температуре до 4 %.

Табл. 1. Концентрация компонентов в различных участках сплава

Область сплава	Компоненты, ат. %		
	Bi	Sn	In
Светлая	48	4	48
Серая	37	7	56
Темная	9	60	31

Таким образом, в исследуемом сплаве имеются крупные и мелкие светлые области. На рис. 2 представлена гистограмма распределения максимальных хорд l сечений белых выделений по размерным группам. На гистограмме выделяются две области, соответствующие мелким и крупным выделениям ϵ -фазы (BiIn). Для мелких частиц среднее значение хорд равно $l_1 = 2,6$ мкм, а для крупных частиц – $l_2 = 19$ мкм соответственно. Это свидетельствует о выделении крупных частиц ϵ -фазы в начале кристаллизации, а мелких – при ее завершении.

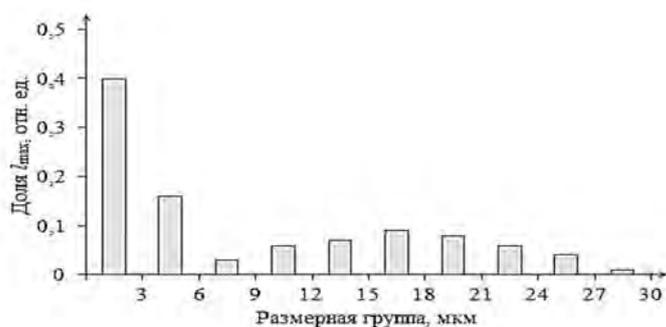


Рис. 2. Распределение длин хорд l_{\max} сечений частиц ϵ -фазы по размерным группам

Формирование наблюдаемой микроструктуры объясняется тем, что при охлаждении расплава со скоростью порядка 10^2 К/с из-за переохлаждения в жидкой фазе появляются области, в которых состав близок к составу промежуточных фаз, что способствует образованию центров кристаллизации фазы BiIn в этих местах в первую очередь. Выделение фазы BiIn сопровождается выделением теплоты, что уменьшает переохлаждение жидкости. Затем из жидкости образуется смесь BiIn и Bi_3In_5 (серая область), на заключительном этапе кристаллизации происходит образование выделений трех фаз BiIn , Sn_4In и Bi_3In_5 .