

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МИКРОЭМУЛЬГИРОВАННОГО СПЛАВА Bi - Zn

Наличие в металлических сплавах монотектической системы области несмешивания жидких фаз позволяет формировать в них эмульгированное состояние. Эти сплавы применяются в современной технике в качестве материалов с высокой прочностью, тепло- и электропроводностью, износостойкостью. Структура, обеспечивающая необходимый уровень свойств, характеризуется размерами включений 5 - 15 мкм и их количеством $\sim 1 \cdot 10^3 \text{ мм}^{-2}$. Данные параметры структуры реализуются при скорости охлаждения до $10^2 \text{ }^\circ\text{C/с}$. Основным резервом повышения свойств эмульгированных сплавов является увеличение дисперсности и количества включений. Для достижения этого необходимы высокие скорости охлаждения расплава $\sim (10^3 - 10^5) \text{ }^\circ\text{C/с}$. Однородность структуры также является важным фактором повышения свойств сплавов. Вследствие ряда особенностей поведения эмульсии при охлаждении, формирование однородной структуры затруднено. Имеются данные, указывающие, что даже при быстром охлаждении ленты толщиной 50 мкм из сплава Cu-Cr со скоростью $10^5 \text{ }^\circ\text{C/с}$ по её высоте образуются зоны с разным размером и количеством включений.

В исследованиях по формированию структуры эмульгированных сплавов основное внимание уделяется величине включений и их распределению по размерам. Недостаточно изучено влияние скорости охлаждения на количество эмульгированных включений, а так же редко учитываются особенности теплообмена между расплавом и охлаждающей средой.

Эксперименты проводились на замонотектическом сплаве Bi – 30 % мас. Zn. Температура обработки расплава и разлива составляла 560°C (на $50 \text{ }^\circ\text{C}$ выше температуры бинодали), толщина образцов, заливаемых на подложку - 600, 300 и 120 мкм. Скорость охлаждения (u) рассчитывалась с помощью уравнения Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи (α) от образца к подложке определялся на основе современного подхода, учитывающего контактное сопротивление воздуха, заключённого между неровностями на поверхности подложки. В исследованиях применялись подложки с близкими коэффициентами теплопроводности, но с разными высотами микронеровностей на поверхности – точёная

графитовая с микронеровностями ~ 200 мкм ($\alpha = 1,63 \cdot 10^3$ Вт/(м² ·К)) и полированная стальная с - 2,3 мкм ($\alpha = 1,42 \cdot 10^5$ Вт/(м² ·К)). Условия теплообмена характеризовались числами Био (Bi) и Фурье (Fo). Определялись средний размер эмульгированных включений (b), среднее расстояние между включениями (L) и количество включений на единице площади шлифа (q), определёнными с помощью оптического микроскопа.

Структуры образцов затвердевших на графите, были однородными.

Также была однородной структура образца толщиной 120 мкм, закристаллизованного на стали. В остальных образцах наблюдались 3 зоны: нижняя - со стороны, примыкавшей к подложке (высота зоны 60 мкм), средняя и верхняя – со стороны воздуха (высота зоны 60 мкм). Размеры включений Zп в нижней зоне были на 30 %, в верхней - на 7 % меньше, чем в средней. Условия охлаждения и параметры структуры (для образцов с неоднородным строением – для средней зоны) приведены в таблице.

Таблица

Влияние условий охлаждения на микроэмульгированный сплав

Параметры	Графитовая подложка			Стальная подложка		
	Толщина образца, мкм					
	600	300	120	600	300	120
u, °C/c	$8,21 \cdot 10^2$	$1,64 \cdot 10^3$	$4,10 \cdot 10^3$	$7,12 \cdot 10^4$	$1,42 \cdot 10^5$	$3,56 \cdot 10^5$
Bi	0,065	0,033	0,013	5,67	2,83	1,13
Fo	12,1	24,2	60,5	0,1	0,3	0,7
b, мкм	$6,4 \pm 1,02$	$3,6 \pm 0,46$	$3,1 \pm 0,58$	$3,6 \pm 0,45$	$1,7 \pm 0,17$	$1,4 \pm 0,13$
L, мкм	$8,2 \pm 1,89$	$3,1 \pm 0,88$	$2,9 \pm 1,31$	$5,4 \pm 0,86$	$2,5 \pm 0,66$	$1,2 \pm 0,25$
q, мм ⁻²	$7,90 \cdot 10^3$	$1,11 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$	$1,10 \cdot 10^4$	$6,02 \cdot 10^4$	$1,78 \cdot 10^5$

Таким образом, для однородных структур (подложка - графит) число Bi < 0,1, что отвечает условию термически “тонкого” тела с весьма незначительным перепадом температуры внутри охлаждающегося образца. Для образца, полученного на стали, однородность структуры, вероятно, связана со смыканием нижней и верхней зон. Наиболее дисперсные эмульгированные структуры образуются в условиях Fo < 1, однородные при Bi ≤ 1.