



a – литий зразок, *б* – зразок після термообробки,
в – зразок після ГПП, *г* – зразок після ГПП і термообробки.

Рисунок 1 - Морфологія і розмір γ' - фази у зразках, виконаних за різними технологіями.

Розрахунки за методом «Л» підтверджують, що після проведення ГПП рівномірність розподілу часток γ' -фази збільшується відносно литого стану, однак дещо поступається литому зразку після термообробки. Максимальний ефект досягається проведенням ГПП з подальшою термообробкою, у такому випадку коефіцієнт розподілу наближається до одиниці.

Якщо побудувати залежність між міцністю (σ_B) і рівномірністю розподілу γ' - фази або розміром відстаней між частинками γ' - фази (D), розрахункові дані підтверджуються, адже при рівномірному розподілі часток γ' - фази у металевій матриці, відстані між ними менші, ніж при нерівномірному розподілі.

Перелік посилань

1. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). – М.: МИСИС, 2001. – 632 с.
2. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД, часть II. – Запорожье: издательство ОАО «Мотор Сич», 2003. – 496 с.

УДК 621.745.56:538.4/5:669-14

Е. В. Середенко

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
Киев*

ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ЭМУЛЬГИРОВАННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЛИТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАННЫХ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Литые металлические сплавы с эмульгированной структурой перспективны как трибологические и упрочнённые материалы. Наиболее благоприятная форма включений в таких сплавах сферическая. Для управления структурой эмульгированных сплавов, в частности, применяются постоянные магнитные поля с индукцией (B) превышающей 1 Тл, что требует специального оборудования. Под воздействием магнитного поля изменяется форма эмульгированных включений. Особенности этого процесса в настоящее время изучены недостаточно. Целью представленной работы было установление особенностей влияния постоянного горизонтального магнитного поля с индукцией $0 < B \leq 1$ Тл на форму эмульгированных включений с помощью низкотемпературных сплавов двух типов, где фазы попеременно выступают основой и включениями, при использовании скорости охлаждения, характерной для обычных способов литья.

Для проведения исследований были использованы сплавы Zn – 14 % об. Вi и Вi – 45 % об. Zn, скорость охлаждения 2,5 °C/с, магнитное поле, создаваемое электромагнитом, с индукцией 0, 0,05, 0,1, 0,4, 0,7 и 1,0 Тл. Анализ литых структур сплавов показал, что независимо от величины B размер (L) минимальных эмульгированных включений Вi составлял 5 мкм, Zn – 10 мкм, соотношение длины к ширине (b) несферических включений Zn был на уровне 1,0 – 1,5, остальные исследованные параметры литых структур – диапазон размеров включений различных форм (L_{\min} - L_{\max}), их количество (Q), соотношение L/b несферических включений Вi, количество конгломератов включений Zn, образованных в результате коалесценции и коагуляции, существенно зависели от B (таблица).

Исходя из данных таблицы, для получения сферических эмульгированных включений рекомендуется применение B порядка 0,1 – 0,4 Тл и создание условий для формирования включений с размерами до 10 мкм.

Таблица

Характеристики эмульгированных включений в литых сплавах
Zn – Bi и Bi - Zn

В, Тл		0,0	0,05	0,1	0,4	0,7	1,0	
Включения на основе Bi								
Формы включений	Сферическая	$L_{\min}-L_{\max}$, мкм	5-45	5-45	5-30	5-21	5-6	-
		Q , %	28	37	43	33	1	0
		L/b	1,1-1,7	1,3-1,5	1,1-1,3	1,1-1,3	1,7-4,0	2,0-4,0
	Овальная	$L_{\min}-L_{\max}$, мкм	12-45	12-24	9-30	12-24	5-15	5-6
		Q , %	72	28	50	19	2	3
		L/b	-	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,3	1,0-4,0	2,0-4,0
	Сложная	$L_{\min}-L_{\max}$, мкм	-	9-36	15-30	9-36	9-30	6-30
		Q , %	0	35	7	48	97	97
		L/b	-	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,3	1,0-4,0	2,0-4,0
Включения на основе Zn								
L_{\max} , мкм		45	45	90	45	60	90	
Формы включений	Сферическая	$L_{\min}-L_{\max}$, мкм	10-45	10-18	10-45	10-18	10-15	-
		Q , %	27	17	27	4,5	8,5	0
		L/b	12-45	10-33	10-45	10-27	12-18	10-24
	Овальная	$L_{\min}-L_{\max}$, мкм	12-45	10-33	10-45	10-27	12-18	10-24
		Q , %	28	22	3,5	17	7	8,5
		L/b	21-45	12-45	10-90	15-45	12-60	10-90
	Сложная	$L_{\min}-L_{\max}$, мкм	21-45	12-45	10-90	15-45	12-60	10-90
		Q , %	33	40	43,5	62,5	75	34
		L/b	12	21	26	16	9,5	57,5
Конгломераты	Q , %	12	21	26	16	9,5	57,5	

При получении промышленного медного сплава, упрочнённого эмульгированными включениями хромистого чугуна, был использован специальный режим обработки расплава переменным электромагнитным полем, обеспечившим равномерное образование включений среди которых преобладал размер 3 мкм, и заливка, охлаждение и затвердевание сплава в постоянном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл. При этом эмульгированные включения имели сферическую форму. Применение специально организованных электромагнитных воздействий позволило повысить эксплуатационные характеристики сплава в 2,5 раза.

УДК 669.131.5:537.84

В. А. Середенко, С. Г. Голубчик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
Киев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В РАСПЛАВЕ ПРИ КОНТАКТНОМ ПОДВОДЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЛИТЕЙНЫЙ КОВШ

Эффективным способом улучшения служебных характеристик промышленных металлов и сплавов является внепечная обработка расплавов электрическим током [1,2]. Однако режимы обработки характеризуются весьма значительным диапазоном используемых плотностей электроток, пропускаемых по расплавам. Так, для черных металлов рекомендуют как $5 \cdot 10^1$ А/м² [1], так и $5 \cdot 10^4$ А/м² [2].

С целью определения степени отклонения плотности электрического тока в объеме расплава при его обработке в литейном ковше с использованием распространенной схемы подвода (параллельные цилиндрические электроды диаметрально расположенные у стенок ковша проведены исследования на физической модели. Определяющим критерием подобия выбрана относительная напряженность электрического поля $E = \rho l^2 \rho_3^{-1/2} \eta^{-1/3} \cdot E$, где ρ - плотность расплава, l - характерный размер, ρ_3 - удельное электросопротивление расплава, η - динамическая вязкость сплава; E - напряженность электрического поля. Расплавленный металл, моделировал 25% водный раствор CuSO₄. К электродам подводился постоянный ток. Плотность электротока измерялась контактным 2-х электродным датчиком.

В I серии экспериментов электроды были погружены вертикально в жидкость на одинаковую глубину $h_3 (h_3/h=0,88$, где h - высота расплава в ковше) при межэлектродном расстоянии l_3 в безразмерном виде l_3/D равном 0,88 (где D - диаметр расплава по зеркалу) при E до 8,8.10³. Плотность тока i по высоте межэлектродного пространства в плоскости xz имела одинаковое распределение. В плоскости yz межэлектродного пространства i менялась незначительно. При $E = 9 \cdot 10^2$ i была максимальна непосредственно у электродов и существенно снижалась при удалении от них. Ее минимальное значение (в 8 раз меньше, чем у электродов) зафиксировано на оси $z3$ межэлектродного пространства. У дна емкости значение i было вдвое ниже, чем на оси $z3$ на уровне концов электродов, однако ток был распределен у дна равномерно. Значительное увеличение подводимого к электродам напряжения ($E=8,8 \cdot 10^3$) не привело к изменению характера неоднородного распределения электротока в жидкой среде.

Во II серии опытов ($E=8,8 \cdot 10^3$) один электрод был существенно короче другого (заглубление h_3/h короткого электрода 0,25, длинного 0,88).