

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/м<sup>2</sup> [1], так и  $5 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup> [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  $\rho$  - плотность расплава,  $l$  - характерный размер,  $\rho_3$  - удельное электросопротивление расплава,  $\eta$  - динамическая вязкость сплава;  $E$  - напряженность электрического поля. Расплавленный металл, моделировал 25% водный раствор CuSO<sub>4</sub>. 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 8,8.10<sup>3</sup>. 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).

Установлено значительное увеличение неоднородности распределения электротока в объеме расплава. Плотность тока у короткого электрода  $i_k$  была в 1,6 раза больше, чем у длинного. Минимальное значение  $i$  на поверхности расплава сместилось от центра к длинному электроду на  $0,25 l_э$  и составило  $0,18 i_k$ . Распределение тока у дна емкости отличалось зеркально от распределения его на поверхности жидкости – от минимального значения под коротким электродом ( $0,05 i_k$ ) до максимального  $0,9 i_k$  на расстоянии  $0,25 l_э$  от длинного электрода и при  $0,36 i_k$  непосредственно возле него.

Таким образом, необходим учет особенностей действия на локальные зоны расплава электротока различной плотности.

#### Список литературы

- Chernega D. Treatment of Metals and Alloys under Solidification by the Direct Current // Proc. 15th Riga and 6th PAMIR Conference of Fundamental and Applied MHD. Latvia – 2005. Vol. 2. – P.53-56.  
Миненко Г.Н. Обработка электротоком модифицированного серого чугуна // Литейное производство. – 2001. – №2. – С. 11.

УДК 669.245: 536.421.4

*В. М. Сімановський, Г.Ф. Мьяльница, І. І. Максюта, Ю. Г. Квасницька, А. С. Притуляк, О. В. Михнян*  
*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Києв*

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВІТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД З ОРИЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ

Актуальною та економічно важливою проблемою вітчизняного газотурбобудування на цей час є налагодження серійного виробництва робочих та соплових лопаток з орієнтованою структурою для транспортних та стаціонарних ГТД, в тому числі, наприклад, ГТД з потужністю 25...45 МВт (розробка ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект», м. Миколаїв).

ФТІМС НАНУ на протязі останніх 10 років проводить роботи зі створення жароміцних корозійностійких сплавів для деталей ГТД та композицій вогнетривкої ливарної кераміки, а також вдосконалює технологічні процеси отримання складнопрофільних виливків, в тому числі робочих лопаток турбіни ГТД з орієнтованою структурою за допомогою нових модифікованих матеріалів для тиглів, оболонкових форм та стрижнів.

В роботі, що виконувалась в лабораторії точного лиття жароміцних сплавів ФТІМС НАНУ та на базі ДП НВКГ «Зоря»- «Машпроект», показана можливість управління фазово-структурними характеристиками, такими як ступінь регулярності структури, дендритний параметр, дисперсність та об'ємна частка зміцнюючих інтерметалідних та карбідних фаз виливків з жароміцного корозійностійкого сплаву типу ХН6ОКМЮВТ (базового - без гафнію та модельного - з 0,2%,мас., гафнію), отриманих шляхом спрямованої кристалізації на промисловій установці УВНК-8П (ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект») в умовах регульованого тепловідводу. Також проведено вибір температурно-часового режиму термічної обробки деталей (робочих лопаток ГТД) з метою підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Для встановлення впливу технологічних параметрів процесу кристалізації на такі характеристики модельних сплавів, як макро- та мікроструктура, склад та морфологія зміцнюючих фаз, пов'язаних з коефіцієнтами ліквіації елементів у рівноважному та орієнтованому стані, проведено серії експериментів з варіюванням швидкості кристалізації на 2-ох рівнях: 5 та 10 мм/хв і градієнтом температур на фронті кристалізації 15-20 °С/см для базового (без гафнію) і модельного (з 0,2%, мас., гафнію) сплавів. Показано, що із збільшенням швидкості кристалізації і при введенні в базовий сплав 0,2% гафнію, збільшується об'ємний зміст інтерметалідної зміцнюючої  $\gamma'$ - фази з одночасним корегуванням розмірів її частинок, а також зростає кількість дисперсних карбідів МС-типу в міждендритному просторі. Таким чином, гафній в досліджуваному типі сплавів сприяє поліпшенню працездатності