

**СТРУКТУРА “ЗАМОРОЖЕННОЙ МИКРОЭМУЛЬСИИ” МЕДНОГО СПЛАВА С  
МАЛЫМ СОДЕРЖАНИЕМ FeCrC, ВЫПЛАВЛЕННОГО В ИНДУКЦИОННОЙ  
ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

Резервы повышения свойств меди путём легирования на сегодняшний день исчерпывают себя. Одним из направлений повышения стабильности твёрдого матричного раствора и упрочняющих фаз за счёт замедления диффузии является применение сплавов монотектических систем. Улучшение свойств таких сплавов основано на увеличении дисперсности и количества включений путём формирования в жидком сплаве состояния однородной микроэмульсии с размерами включений ~ 1 мкм и меньше. Задача данного исследования - получение микроэмульгированного состояния расплава при специально организованном электромагнитном воздействии, дифференцированно влияющем на фазы добавки при её переходе из твёрдого состояния в жидкое и адресно действующем на фазы в расплаве в период его выдержки.

Особенностью монотектической системы Cu-FeCrC является обширная концентрационная зона несмешивания жидких фаз с практически вертикальным ходом линии бинадали (ограничивающей зону расслоения) сразу от температуры монотектики. В связи с этим, даже при содержании лигатуры в сплаве 5 – 8 % требуется высокая температура плавки сплавов (до 1700 °С), что при охлаждении эмульгированного расплава требует значительного времени для снятия перегрева. Охлаждение эмульсии от такой высокой температуры вызывает развитие процессов роста капель, их коалесценции и седиментации. В результате формируется структура с каплями до 15 мкм и их количеством до  $2 \cdot 10^3 \text{ мм}^{-2}$  при литье в кокиль. Для предотвращения нежелательных изменений в расплаве в работе было использовано малое количество добавки. Благодаря этому удалось существенно снизить температуру плавки. В процессе получения сплава использованы специально организованные электромагнитные воздействия, направленные на формирование и равномерное распределение капель в расплаве.

Плавки проводилась в индукционной тигельной печи (частота электрического тока 42 кГц). Использовалась медь марки М00. Лигатура FeCrC для вы-

плавки сплавов Cu-FeCrC содержала 16 % мас. хрома, 1,4 % мас. углерода, остальное железо и примеси. Масса вводимой лигатуры составляла 0,7 и 1,0 % от массы сплава. Расплавление меди и перегрев расплава до 1380 °С осуществлялся при удельной мощности ~ 450 Вт/кг. Твердая лигатура в медный расплав вводилась на зеркало металла при удельной мощности ~ 350 Вт/кг. Сплавы разливались в графитовые кокилы с внутренним диаметром 15 мм. Скорость охлаждения металла в форме была рассчитана по уравнению Ньютона-Рихмана. С учётом теплопроводности материала литейной формы и величины неровностей на её поверхности значение коэффициента теплоотдачи было принято равным 1630 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Скорость охлаждения сплавов составляла ~ 42 °С/с. Рассчитанные числа Фурье (5,7) и Био (0,07) указывали на условия равномерного отвода тепла во время охлаждения и затвердевания металла. Это способствовало формированию однородной структуры по сечению образцов. Характеристики дисперсных включений в структуре отливок с разным содержанием лигатуры FeCrC, представлены в таблице.

Влияние количества добавки на параметры включений в структуре сплава

Параметры	Количество добавки, % мас.	
	0,7	1,0
Средний размер включений, мкм	0,52 ± 0,04	0,94 ± 0,08
Диапазон размеров включений, мкм	0,30 – 1,80	0,30 – 2,40
Расстояние между включениями, мкм	4,90 ± 0,66	6,22 ± 1,29
Количество включений, мм <sup>-2</sup>	3,13·10 <sup>4</sup>	1,14·10 <sup>4</sup>
% коалесцированных включений	3,7	11,8

Средний размер зерна в отливках составлял 20,52 ± 3,25 мкм. Из таблицы видно, что специально организованные электромагнитные воздействия при снижении количества добавки менее - 1 % обеспечили её рассредоточение в объёме расплава, уменьшение размера эмульгированных включений и за счёт этого существенное повышение их количества. Данное состояние расплава в комплексе с незначительным его перегревом позволило сохранить достигнутые параметры микроэмульгированных капель при формировании литой структуры сплава даже при обычном способе литья. На основе полученных результатов целесообразно исследование сплавов с ещё меньшим содержанием лигатуры.