

помещённые в зазор постоянного магнита ( $B = 0,25$  Тл). Перитектика в системе Al – Zr возникает с содержания Zr 0,11%, а в сплаве Al – Ti с  $\sim 0,18\%$  Ti. Сплавы готовились из алюминия А6 и лигатур в печи электросопротивления при температуре 860 °С. Процессу заливки соответствовали максимальные значения чисел подобия: Рейнольдса  $9 \cdot 10^3$ ; Пекле 1486; Гартмана 337; Альфвена 17,2; параметра МГД-взаимодействия 2,3. Состояние металла при охлаждении отвечало значению числа подобия Фурье 2,5; при затвердевании числа Био 0,8.

На рис. 1 показаны характерные структуры с направленно расположенными интерметаллидами составов сплавов: а) содержание Zr и Ti перитектическое, б) Zr доперитектическое, Ti – заперитектическое.

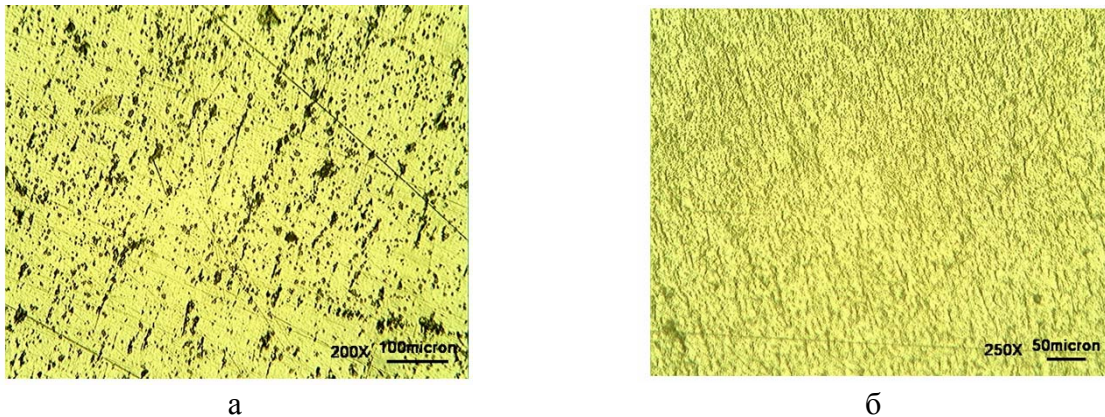


Рис. 1. Направленная структура сплавов Al с добавками Zr и Ti ( $B = 0,25$  Тл)

Таким образом, показано, что под воздействием слабого постоянного магнитного поля ( $B \ll 1$  Тл) в сплавах перитектической системы сплава Al с малым содержанием ( $\ll 1\%$ ) Zr и Ti возможно формирование направленных структур в условиях обычных способов литья.

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

*(ФТИМС НАН Украины, г. Киев)*

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОД ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
ЛИТЫХ МЕДНЫХ СПЛАВОВ МОНОТЕКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ,  
УПРОЧНЁННЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ,  
ВЫДЕЛИВШИМИСЯ В РАСПЛАВЕ**

E-mail: mgd@i.kiev.ua

Создание в сплавах высокодисперсных, распределённых на заданном расстоянии одна от другой частиц, которые почти не растворяются в матрице до температуры её плавления, возможно не только твёрдофазными методами, но и при выплавке сплавов монотектической системы, в частности медных, в индукционных печах. Эта перспектива появилась в результате обнаружения над областью макрорасслоения жидких фаз зоны микрорасслоения с размерами микрогруппировок 0,01...0,10 мкм. Выполненный рядом авторов (Коттрелл А. Х., Портной К. И., Осинцев О. Е. и др.) анализ множества экспериментов показал определяющее значение геометрических факторов в эффективности действия дисперсных частиц в матрице сплава. Определено, что размер упрочняющих частиц дисперсноупрочнённых сплавов входит в диапазон 0,01...0,05 мкм, а среднее расстояние между частицами должно составлять 0,1...0,5 мкм. Частицы больших размеров при высоких температурах становятся неэффективными, но при умеренных и низких оказывают существенное упрочняющее действие. Для анализа ряда особенностей таких сплавов со структурой «замороженной микроэмульсии» использована модель на базе простой кубической решётки. При расстоянии  $\ell$  между центрами шарообразных монодисперсных частиц с диаметром  $d$ , расположенных в узлах решётки, относительное объёмное содержание

$V$  дисперсної фази составит  $V = (\pi/6)(d/\ell)^3$ . Для дисперсноупрочнених сплавов максимально возможный диапазон соотношения  $d/\ell$  находится в пределах (0,018...0,330), соответствующие значения изменяются от  $3 \cdot 10^{-6}$  ( $3 \cdot 10^{-4}$  % об.) до  $1,85 \cdot 10^{-2}$  (1,85% об.), а при среднем значении  $d/\ell = 0,07$  величина  $V = 0,018$  % об. Количество дисперсных частиц  $N$  в единице объёма сплава определяется по выражению  $N = 6V/(\pi d^3)$ . При соотношении  $d/\ell = 0,07$  в  $1 \text{ мм}^3$  расплава может находиться одна капля с  $d = 70 \text{ мкм}$ . При диспергировании этой капли на микрокапли с  $d = 1 \text{ мкм}$  их число составит  $3,44 \cdot 10^5$  штук, а при  $d = 0,01 \text{ мкм}$  –  $3,44 \cdot 10^{11}$ .

Сплавы монотектической системы на основе меди с малыми добавками лигатуры FeCrC были получены в высокочастотных (18 и 42 кГц) индукционных тигельных печах при варьировании условий наложения на расплав электромагнитного поля и его напряжённости. Металлографическое изучение шлифов литых образцов (цилиндры диаметрами 15 и 45 мм и соответственно высотой 45 и 15 мм) показало, что при содержании дисперсной фазы на основе FeCrC 0,26% об. средний диаметр включений составлял 1,0 мкм при отношении  $d/\ell = 0,17$ . Сокращение содержания дисперсной фазы в сплаве за счёт уменьшения добавки лигатуры до 0,046% об. привело к снижению  $d$  до 0,52 мкм и понижению отношения  $d/\ell$  до 0,096. Величины  $d/\ell$  в полученных структурах макрообразцов входили в диапазон, определённый для дисперсноупрочнённых сплавов, но значения  $d$  и  $\ell$  были на порядок выше.

Таким образом, полученные сплавы по показателям  $d/\ell$  и  $V$  соответствовали дисперсноупрочнённым сплавам с наноразмерными упрочняющими фазами, но значения  $d$  и  $\ell$  не достигли требуемой дисперсности. В результате исследований определено, что в медных сплавах монотектической системы можно достичь соответствия основных геометрических структурных параметров, характерных для сплавов, упрочнённых наноразмерными включениями. Дальнейшие исследования следует направить на углубление изучения особенностей действия переменных электромагнитных полей на металлические расплавы с зоной несмешивания жидких фаз с целью повышения эффективности воздействий на наноразмерные неоднородности в расплаве и отработку рациональных режимов электроплавки сплавов монотектических систем на основе меди.

**Сидоренко Д.С., Наумик В.В.**  
(ЗНТУ, г. Запорожье)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛИТОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

Модифицирование щелочноземельными элементами получило широкое распространение в большой металлургии. Однако в условиях рыночных отношений сформировались малые предприятия, в которых для производства небольших отливок используются индукционные печи малой ёмкости.

Технологические особенности плавки стали в таких печах изучены недостаточно полно. В данной работе уточнены особенности раскисления и модифицирования литой углеродистой стали в печах малой ёмкости. В качестве объекта исследования выбрали распространённую марку среднеуглеродистой стали 20Л. Опытный металл плавил в 60 кг индукционной печи. Конечное раскисление проводили по трём вариантам: SiCa (вариант №1), SiBa (вариант №2) и Al (вариант №3). Согласно термодинамическим и термодинамическим расчётам, первичные включения в опытных вариантах должны были быть представлены корундом и комплексными оксисульфидами, содержащими Ca и Ba. При выплавке и кристаллизации небольших объёмов металла создаются неблагоприятные условия для удаления первичных включений. Определяющим фактором при этом является плотность включений.

Из опытного металла изготовили образцы для механических испытаний и металлографические шлифы. Особенности модифицирования оказали существенное влияние на