

тились до 9 раз за счёт их разрушения и растворения. Эффекты перераспределения компонентов между фазами и модифицирования включений могут быть связаны с магнитогидродинамическими течениями, возникающими при кристаллизации интерметаллидов в расплаве вследствие взаимодействия магнитного поля и термотока. Повышение микротвёрдости включений предположительно обусловлено уменьшением несовершенств их строения, что отображалось формой и характером окрашивания при травлении.

Таким образом, постоянное магнитное поле, накладываемое на кристаллизующийся расплав, обладает свойствами модификатора, способствует измельчению интерметаллидной фазы, повышению её микротвёрдости, и тем самым управляет структурой алюминиевого сплава и его свойствами. Мелкокристаллические интерметаллиды высокой твердости являются полезными структурными составляющими для повышения жаропрочности материалов.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, С. Г. Голубчик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТРУКТУРА СПЛАВА АЛЮМИНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ В ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ОХЛАДИТЕЛЬ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УТЯЖЕЛЕНИЯ

Для воздействия на структуру и свойства отливок в металлургии и литейном производстве находит широкое применение обработка жидкого и затвердевающего металла электрическими и магнитными полями. Разрабатываются технологии, основанные на воздействии скрещённых постоянных магнитных и электрических полей, в частности, при литье в жидкометаллическую среду.

В данной работе исследовано влияние взаимоперпендикулярных постоянных электрического и магнитного полей на характер структурообразования сплава Al с 1,5 % масс. Си в режиме электромагнитного утяжеления в жидком охладителе – сплаве Bi-Pb эвтектического состава с температурой плавления 124 °С. Плотность охладителя при температуре ~ 160 °С ~ 10,20 г/см³, удельное электросопротивление ~ 125·10⁻⁸ Ом·м. Плотность сплава алюминия при температуре заливки (700 °С) со-

ставляла $\sim 2,40$ и $2,66 \text{ г/см}^3$ после затвердевания. Удельное электросопротивление жидкого сплава было $\sim 25 \cdot 10^{-8}$, затвердевшего $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Основной частью устройства, осуществлявшего создание потенциального силового электромагнитного воздействия, являлась ячейка в виде параллелепипеда с узкими боковыми стенками из меди и неэлектропроводными дном и широкими стенками. Электрический ток подводился к медным стенкам. Действие постоянного магнитного поля, горизонтальные силовые линии которого были направлены перпендикулярно широким стенкам ячейки, обеспечивалось электромагнитом. Стабилизация температуры охлаждающей среды в ячейке выполнялось с помощью нихромового нагревателя, расположенного под ячейкой. После заполнения ячейки сплавом Bi-Pb и стабилизации его температуры устанавливались заданные величины плотности электрического тока в сплаве и индукции магнитного поля. При этом в охладителе возникала направленная вниз потенциальная электромагнитная сила. Затем на поверхность утяжелённой охлаждающей среды заливался сплав алюминия из алунового ковшика. При контакте с охладителем и погружении части объёма алюминиевого расплава по нему начинал протекать электрический ток. Вследствие взаимодействия его с магнитным полем алюминиевый сплав также утяжелялся. Значительное превышение электропроводности заливаемого сплава этой характеристики Bi-Pb обеспечивало превосходство удельных электромагнитных сил, действовавших на алюминиевый объём.

Изучено влияние на структурообразование сплава алюминия режимов утяжеления с действием электромагнитных объёмных сил (ЭМОС) до $30 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$. При этом максимальные значения плотности электрического тока достигали $23 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$, а индукции магнитного поля до 1,4 Тл.

Отливки, полученные при значении ЭМОС $\sim 2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ затвердевали на поверхности охладителя. Их литая структура была неоднородной. Наиболее мелкое зерно $\sim 5 \text{ мкм}$ образовалась в зоне отливки, примыкавшей к охладителю по мере удаления от поверхности контакта зерно плавно укрупнялось до $\sim 15 \text{ мкм}$. Увеличение ЭМОС до $\sim 20 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ привело к погружению объёма сплава алюминия под уровень охлаждающей среды на $\sim 70 \%$. Структура отливок характеризовалась выраженной зональностью. В зоне, примыкавшей к поверхности контакта металлических сред протяжённостью $\sim 100 \text{ мкм}$ наблюдались столбчатые кристаллы шириной ~ 5 и длиной $\sim 20 \text{ мкм}$. Она переходила в область равноосных кристаллов размерами до 8 мкм , в которой располагались отдельные округлые крупные зёрна алюминия $\sim 50 \text{ мкм}$. По мере приближения к поверхности отливки количество крупных кристал-

лов и их размеры увеличивались (до 150 мкм), они образовывали скопления, их форма трансформировалась с округлой в овальную и розеточную с округлыми ветвями. Соответственно сокращалась площадь, занятая более мелкими зёрнами алюминия, среди которых увеличивалось количество дендритоподобных. Размеры дендритных ячеек в среднем были 12 мкм. Отливки, полученные под воздействие ЭМОС до $\sim 30 \cdot 10^4$ Н/м³ были полностью погружены под поверхность охладителя. В структуре наблюдалась зона столбчатых кристаллов, аналогичная предыдущему случаю, а зона равноосных зёрен характеризовалась их средним размером ~ 10 мкм. Увеличение размера зёрен по сравнению с вариантом неполного погружения в охладитель, вероятно, вызвано термическим действием электротока. При увеличении плотности тока свыше $20 \cdot 10^4$ А/м² отливка растягивалась в направлении протекания тока и в её центральной части появлялись полости. Таким образом, с помощью ЭМОС возможно управление макро- и микроструктурой отливок, полученных в жидкометаллическом охладителе.

УДК 621.746: 669.18

Л. А. Соколовская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ПЛАВЛЕНИЯ

При совершенствовании существующих и разработке новых технологий литья для повышения качества металлопродукции необходимо исследовать теплофизические процессы охлаждения и затвердевания, нагрева и плавления.

Процессы внешнего и внутреннего теплообмена необходимо изучать: при затвердевании слитка в изложнице; при остывании слитка на воздухе после его извлечения из изложницы; при нагреве слитков под ковку или прокатку; при затвердевании непрерывного слитка в кристаллизаторе; при затвердевании отливки в металлическом кокиле или неметаллической форме; при охлаждении отливки после выбивки из формы; при охлаждении капель расплава в воде или на воздухе для получения литой дроби; при нагреве и плавлении в расплаве металлической шихты, лигатуры, инокуляторов, модификаторов, дроби и др.