

ществом разработанного МД-ПК является возможность управления потоком и минимизации скорости движения металла при его малонапорном истечении из промежуточного ковша, что позволяет обеспечить благоприятные условия для формирования прочной твердой корочки.

При этом в кристаллизаторе МНЛЗ также обеспечивается наложение электромагнитного воздействия, которое придает расплаву вращение в горизонтальной плоскости. Оригинальная конструкция МГД устройства позволяет генерировать изменяющееся электромагнитное давление на расплав и распространение пульсаций в виде акустических волн вглубь жидкой ванны заготовки. Это обеспечивает принудительное перемешивание расплава по всей протяженности заготовки в ЗВО. Для обеспечения максимальной эффективности воздействия и гомогенизации расплава предлагается установка дополнительного устройства для электромагнитного перемешивания непосредственно в ЗВО. Это создает локальные течения жидкости в междендритном пространстве и кардинально влияет на процессы диффузии, ликвации химических элементов и интенсивности теплообмена.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

**В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, Б. А. Кириевский, Е. В. Середенко,
В. В. Христенко, А. А. Паренюк**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОЭМУЛЬГИРОВАННОГО РАСПЛАВА МЕДИ С КОМПЛЕКСОМ FeCrC ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ УПРОЧНЁННОГО МАТЕРИАЛА

Повышение ресурса работы и надёжности токопроводящих элементов конструктивных узлов машин контактной сварки (электродов) и пантографов железнодорожного транспорта (контактных пластин) возможно за счёт применения высокотепло- и электропроводных дисперсноупрочнённых материалов на основе меди. Структура таких материалов образуется путём фиксации в литой заготовке состояния эмульсии, сформированной в расплаве, благодаря существованию в сплавах меди с рядом более тугоплавких металлодобавок зоны расслоения жидких фаз. Имеются сведения, что в расплавах систем с зоной расслоения вблизи неё в узком диапазоне концентраций второго компонента в основе существует зона микроэмульсионного

состояния. Получение сплавов со структурой микроэмульсии даёт возможность повысить число упрочняющих включений при одновременном уменьшении количества вводимой добавки. При этом понижается насыщение основы сплава компонентами добавки, что повышает тепло- и электропроводность материала. Такая структура обеспечивает необходимый уровень эксплуатационных характеристик сплава при температурах до 900 °С. Получение металлической микроэмульсии связано с трудностями, обусловленными отсутствием точных данных о границах зоны микроэмульсионного состояния системы, узким диапазоном концентрации второго компонента в данной зоне, обеспечением равномерного распределения малого количества добавки в объёме расплава, сохранением микроэмульгированной структуры жидкого сплава при его охлаждении и затвердевании.

Современные технологии получения упрочнённого сплава на основе Cu с легирующим комплексом FeCrC в количестве 5 – 7 % мас. основаны на формировании эмульгированного расплава в зоне расслоения и получение заготовок заливкой в графитовые кокилы. В технологии, основанной на термовременном воздействии на расплав при его перегреве до 1750 °С получаемый материал характеризуется эмульгированными включениями с размерами до 15 мкм и их количеством до $2 \cdot 10^3$ мм⁻². Технологический процесс, базирующийся на адресном электромагнитном воздействии на фазы в расплаве, благодаря различию их электросопротивлений, даёт возможность снизить перегрев до 1460 °С и получить включения с размерами до 3 мкм и количеством до $4 \cdot 10^3$ мм⁻².

В основе представленной технологии лежит 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. При этом в расплаве на основе Cu с ~ 1 % легирующего комплекса FeCrC были получены включения с размером до 1 мкм и количеством до $\sim 1 \cdot 10^5$ мм⁻². На первом этапе приготовления расплава он перегревался до 1460 – 1480 °С в это время происходило разрушение и растворение кусков добавки в расплаве за счёт адресного теплового, силового и эрозионного действия электрического тока на фазы добавки (зёрна перлита и карбидную сетку, окружающую их), существенно отличающихся электросопротивлениями и вязкостями. На втором этапе обеспечивалось доведение содержания компонентов во включениях металлоэмульсии до равновесного и однородное распределение включений в объёме расплава. При этом силовое влияние электротока на металл было снижено, а тепловое поддерживалось на

прежнем уровне. Величина силы тока составляла 0,6 от её значения на первом этапе.

Из микроэмульгированного расплава были получены литые заготовки с характерным размером 15 мм (отливки) и 80 – 500 мкм (дисперсные объёмы для последующего прессования). Структура отливок, охлаждённых со скоростью ~ 40 °C/с в графитовом кокиле при обеспечении турбулентного режима течения расплава при заливке и условия интенсивного отвода тепла при охлаждении (число Фурье ~ 6) и невысокого перепада температуры в металле в период затвердевания (число Био $\sim 0,1$), характеризовалась размером включений ~ 1 мкм, зерна ~ 20 мкм, количеством включений $\sim 1 \cdot 10^4$ мм⁻².

Дисперсные объёмы были получены методом ударного измельчения струи расплава на вращающемся диске с лопастями. В момент контакта струи с лопастями происходила её интенсивная турбулизация – значение числа Рейнольдса достигало $\sim 4 \cdot 10^4$ и эффективное дробление её на капли – число Вебера $\sim 6 \cdot 10^2$. Скорость охлаждения была $\sim 1 \cdot 10^3$ °C/с, что обеспечило размер включений $\sim 0,5$ мкм, зерна ~ 8 мкм, количество включений $\sim 1 \cdot 10^5$ мм⁻².

УДК 669.017.12/15

**В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, Б. А. Кириевский, Е. В. Середенко,
А. А. Паренюк**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПОЛУЧЕНИЕ МЕДНОГО РАСПЛАВА С МИКРОЭМУЛЬГИРОВАННЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ FeCrC В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Одним из современных направлений разработки материалов для токосъёмных деталей железнодорожного транспорта является получение металлических дисперсноупрочнённых сплавов с высокими электрическими характеристиками. Значительный потенциал для повышения эксплуатационного ресурса имеет усовершенствование структуры и свойств материала на основе дисперсноупрочнённых медных порошков для контактных пластин пантографов.

Главным технологическим параметром при выплавке и разливке расплава является его температура. В составе упрочнённых медных сплавов, применяемых и разрабатываемых на современном этапе, присутствуют элементы с температурой