

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

плавления значительно превосходящей 1400 °С – температуру, наиболее оптимальную для медных расплавов (например Cr в 1,4; Mo в 1,9 раза). Для снижения температуры обработки такого сплава в качестве добавки, формирующей дисперсную фазу, выбран легирующий комплекс FeCrC, содержащий, % мас.: Cr - 14-16, C - 1,3-1,5 %, остальное железо и примеси. Такой сплав имеет температуру плавления ~ 1250 °С. Упрочнение осуществляется за счёт образования эмульгированных включений из материала добавки благодаря существованию в сплаве зоны несмешивания жидких фаз. Обычно в сплавах с несмешиваемостью функцию эмульгированной фазы выполняет один или несколько простых элементов. Комплекс FeCrC является сплавом с фазами, которые существенно отличаются физическими свойствами.

Структура, обеспечивающая необходимый уровень свойств упрочнённых материалов, характеризуется размерами включений 5 – 15 мкм и их количеством ~ $1 \cdot 10^3$ мм⁻². Главным резервом повышения свойств таких сплавов является увеличение дисперсности и количества включений формированием в жидком сплаве состояния микроэмульсии с размерами включений ~ 1 мкм и меньше.

При получении расплава для упрочнённого материала с высокой электропроводностью необходимо минимальное насыщение основы сплава компонентами добавки. Поэтому проведение плавки требует минимального перегрева расплава над температурой монотектики и сокращения времени контакта фаз. Учитывая сложное строение добавки FeCrC, ускорение получения эмульгированного состояния медного сплава возможно путём специальной организации электромагнитного действия на фазы сплава.

Структура легирующего комплекса FeCrC была представлена зёрнами сорбитизированного перлита, окружённых эвтектической составляющей, образующей непрерывную сетку.

Был получен сплав с содержанием легирующего комплекса ~ 1,0 %. При получении расплава в условиях перегрева до 1350 °С, анализ проб показал, что при плавлении легирующего комплекса в жидкой меди осуществлялось растворение перлитной составляющей в меди, а карбидная фаза расплавлялась и трансформировалась из рассредоточенного состояния эвтектической сетки в сплошной компактный объём, имевший чёткую поверхность раздела с другими фазами. Разрушение этого объёма требовало значительных затрат времени и энергии из-за его высокой вязкости, втрое большей, чем у основы сплава. Таким образом, необходимо обеспечивать диспергирование объёма добавки на начальном этапе плавления кусков

шихты, когда они ещё находятся в твёрдожидком состоянии, для предотвращения образования карбидной фазой компактного объёма, обособленного в расплаве.

С этой целью была проведена корректировка электромагнитного воздействия за счёт повышения силы тока питающего индуктор и расплав перегревался до 1460-1480 °С. Вследствие структурной и химической неоднородности лигатуры, электрический ток вызывал большой разогрев локальных участков в местах соединения перлитной и карбидной фаз, способствуя образованию тонких каналов, по которым матричный расплав проникал в толщу лигатуры. Это вызывало отрыв дисперсных объёмов от куска лигатуры и перенос их в отдалённые зоны расплава. При этом вихревые течения матричного расплава, образовавшиеся вблизи разрушающегося куска лигатуры, приводили к возникновению локальных скоплений её диспергированных объёмов. Для рассредоточения таких скоплений на завершающей стадии приготовления расплава сила электрического тока была снижена на 40 %. Такой режим получения расплава обеспечил формирование его эмульгированного состояния с каплями размером до 1 мкм и их количеством $>1 \cdot 10^3 \text{ мм}^{-2}$.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ, НАЛОЖЕННОГО НА ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ СПЛАВ АІ ЛЕГИРОВАННЫЙ Cu, Fe И МИШМЕТАЛЛОМ НА ЕГО СТРУКТУРУ И ТВЁРДОСТЬ

В сплавах на базе системы Al-Cu производимых по ГОСТ 1583-93, эксплуатационные характеристики обеспечиваются легированием Mn, Ti и Cd, который является высокотоксичным. В аналогах этих сплавов, изготавливаемых в США, применяются легирующие Mn, Ti, Mg и Ag – дорогостоящий металл. В Германии, Франции и Японии, элементы Cd и Ag не используются, но вместе с этим значительно усложняется легирующий комплекс. Задача, поставленная в данной работе заключалась в установлении возможностей влияния на упрочнённого сплав системы Al-Cu без применения токсичных, дорогих элементов и сложного легирующего комплекса.

Известно, что формирование в структуре сплава большого числа дисперсных интерметаллидов, в частности, в сплавах Al-Cu за счёт эвтектик, образующихся при