

**В. И. Дубоделов<sup>1</sup>, Ю. М. Гориславец<sup>2</sup>, В. Н. Фиксен<sup>1</sup>, А. И. Глухенький<sup>2</sup>,  
А. И. Бондар<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

**УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ И ТЕПЛОВЫМ СОСТОЯНИЕМ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ  
ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ  
ПУЛЬСИРУЮЩЕГО И БЕГУЩЕГО МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Перемешивание жидкого металла в различных литейных и металлургических агрегатах в настоящее время осуществляется преимущественно с помощью электромагнитных устройств, использующих бегущее либо вращающееся магнитные поля [1]. В некоторых случаях успешную альтернативу им могут составить перемешиватели на основе пульсирующего магнитного поля [2]. В работе [3] рассмотрены конструктивные решения комбинированных электромагнитных перемешивателей, которые способны отдельно создавать бегущее и пульсирующее магнитные поля при соответственно многофазном и однофазном питании их обмоток. Периодическое чередование этих полей позволяет поочередно формировать одноконтурную и двухконтурную структуры вихревого течения жидкого металла, тем самым более эффективно перемешивать расплав во всем объеме ванны печи. Застойные зоны, которые возникают при одном режиме работы, эффективно перемешиваются при другом.

В предлагаемом докладе представлены расчетные параметры теплового состояния расплава, полученные в результате численного мультифизического 3D моделирования электромагнитных, гидродинамических и тепловых процессов в отражательной печи для алюминия с комбинированным электромагнитным перемешивателем, пристыкованным к боковой стенке ванны печи. Указанные процессы рассматривались как слабосвязанные, что позволило решать эти задачи последовательно. Электромагнитная задача решалась относительно векторного магнитного и скалярного электрического потенциалов, в результате чего получено распределение объемных электромагнитных сил в жидком металле. Расчет нестационарного движения расплава под действием этих сил выполнен на основе решения уравнений Навье-Стокса с использованием k-ε модели турбулентности [4]. Распределение температу-

ры металла в ванне печи в процессе его нагревания получено с учетом поля скоростей, найденных в результате решения гидродинамической задачи.

Моделировалась следующая ситуация. Жидкий металл (алюминий) объемом  $(3 \times 2 \times 0,5) \text{ м}^3$  нагревался и одновременно перемешивался в ванне печи в течение 20 минут. Нагрев осуществлялся тепловым потоком общей мощностью 600 кВт, который поступал равномерно через верхнюю поверхность (зеркало) металла. Начальная температура металла принималась равной температуре плавления, а начальное распределение температуры стенок печи определялось путем предварительного решения стационарной тепловой задачи с заданной температурой внутренних поверхностей стенок, равной начальной температуре расплава. Рассматривался электромагнитный перемешиватель в виде трехстержневого индуктора [3] с суммарными ампервитками трех катушек, равными 60 кА (как при трехфазном, так и однофазном питании).

Анализ полученных таким образом данных показал, что существенно снизить перегрев расплава на поверхности можно за счет использования поочередного действия бегущего и пульсирующего магнитных полей с периодом переключения, примерно равным длительности переходного гидродинамического процесса. Кроме того, установлено, что получить более однородное распределение температуры во всем объеме расплава можно за счет смещения перемешивателя ниже среднего положения по высоте металла.

### Список литературы

- [1] Что-нибудь общее про перемешиватели
- [2] V.I. Dubodelov, V.N. Fikssen, A.I. Glykhenkii, Yu.M. Gorislavets (2009), *Tekhnichna elektrodynamika*, 1, 61-66 (Rus).
- [3] V.I. Dubodelov, Yu.M. Gorislavets, A.I. Glukhenkii, V.M. Fikssen (2015), *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. EPM-2015, Cannes, France*, 605-608.
- [4] Источник по моделированию