

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.745.35

Ячиков И.М., Портнова И.В.

ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ВАННЕ ДППТ С ДВУМЯ ПДОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Одна из характерных черт современного развития металлургии – неуклонный рост выпуска качественных металлов и сплавов, выплавляемых в электрических печах. Повышение производительности печных агрегатов в равной степени определяется увеличением скорости плавления шихты и интенсификацией технологической обработки расплава.

Среди существующих способов воздействия на жидкий металл (механическое, продувка газом и др.) особое место занимают электромагнитные методы бесконтактного воздействия на расплав. Это индукционные, кондукционные и

электровихревыми устройства. Последние начали использоваться сравнительно недавно на дуговых печах постоянного тока (ДППТ) и отличаются тем, что в них отсутствуют внешние индукторы и электромагниты.

Для реализации процессов плавки и перемешивания расплава в печи устанавливается один осевой графитированный катод, а в подине – два асимметрично расположенных подовых анода [1]. Движение расплава возникает за счет взаимодействия токов с собственными магнитными полями.

Необходимо отметить, что характер электровихревых течений (ЭВТ) в жидкой ванне ДППТ с

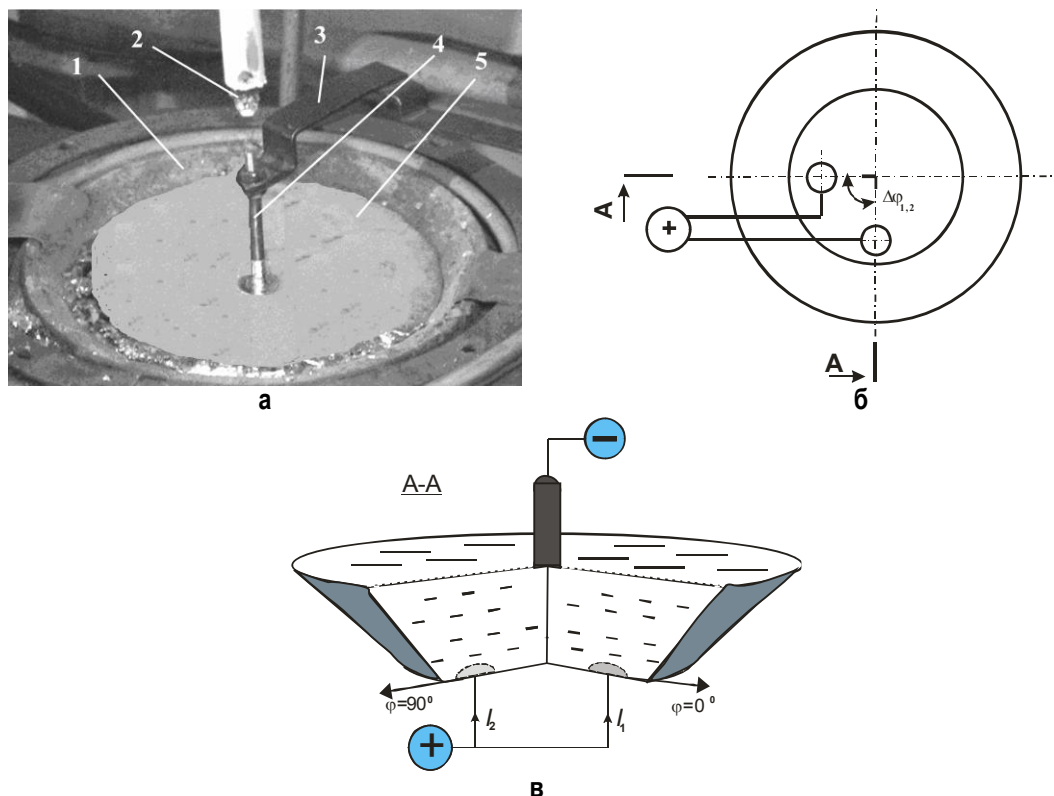


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения ЭВТ в ванне:
а – общий вид экспериментальной установки; б, в – схема расположения подовых электродов:
1 – плавильная ванна; 2 – графитированный электрод; 3 – держатель-токоподвод;
4 – медный катод; 5 – жидкое олово

двумя подовыми электродами до сих пор остается малоизученным. Проведение опытно-промышленных экспериментов характеризуется высокой стоимостью и значительной долей риска, поэтому основным инструментом исследования является математическое и физическое моделирование.

В данной работе ставилась задача определения характера ЭВТ металла в ванне ДППТ с двумя подовыми электродами при одинаковых токах, протекающих через них.

Исследование проводилось на экспериментальной установке, моделирующей ванну расплава пятитонной ДППТ стандартной конфигурации (геометрический масштаб 1:10) (рис. 1).

Диаметр ванны по поверхности жидкого металла $D_0=250$ мм, ее высота $H=40$ мм; угол откоса $\psi=33^\circ$. Цилиндрические медные подовые электроды диаметром 16 мм вмонтированы в днище ванны и их оси расположены под углом $\Delta\varphi_{1,2}=90^\circ$ относительно ее оси (рис. 1, б, в). Установка включала в себя источник электропитания постоянного тока для дугового нагрева, источник больших токов для создания ЭВТ и контрольно-измерительную аппаратуру.

В качестве модельной жидкости использовалось олово. Для его расплавления зажигалась дуга между графитированным электродом и поверхностью ванны (ток дуги $I_d=100$ А, напряжение $U=50$ В).

По оси ванны на глубину 1–2 мм в расплав погружался медный стержень диаметром 8 мм. Стержень закреплялся на медном держателе, через который подавался ток $I \approx 1000$ А ($I_1 \approx I_2 = 500$ А).

На поверхности металла визуально наблюдалось течение. Для изучения его характера прово-

дилась видеосъемка. Анализ покадровых изображений показал, что под медным стержнем расплав затягивается вглубь ванны, а над подовыми электродами наблюдается всплытие расплава на поверхность. При этом его минимальная скорость наблюдалась у стен ванны, а максимальная – в областях над подовыми электродами и под катодом. Характер течения расплава на поверхности ванны показан на рис. 2.

Для анализа ЭВТ расплава в объеме ванне использовался программный продукт «Электромагнитные процессы в ванне ДППТ» [2], позволяющий в трехмерной постановке моделировать электромагнитные процессы в ванне ДППТ для произвольных геометрических и технологических параметров [3, 4]. С его помощью для условий проведения эксперимента получено распределение составляющих объемных электромагнитных сил (ОЭМС) в меридиональной плоскости, проходящей через ось ванны и ось одного из подовых электродов (рис. 3).

Видно, что локальные максимумы значений ОЭМС наблюдаются на краях пятна дуги и краях торцевых поверхностей подовых электродов, а минимумы – в центре пятна дуги и осях подовых электродов. Электромагнитные силы создают струю металла под катодом, которая распространяется вниз вдоль оси ванны, и струю над подовыми электродами, распространяющуюся вверх вдоль их осей (рис. 3, а). Радиальная составляющая ОЭМС на поверхности ванны стягивает расплав к пятну дуги, а на подине – к подовым электродам (рис. 3, б).

Характер течения расплава в меридиональной плоскости, проходящей через оси ванны и первого подового электрода, показан на рис. 4. В областях ванны, содержащих подовый электрод, слева образуются два вихря разнонаправленной циркуляцией, а справа – один.

Поскольку диаметры подовых электродов и токи, протекающие через них, одинаковы, то наблюдается зеркальная симметрия распределения ОЭМС между подовыми электродами относительно плоскости, проходящей через ось ванны перпендикулярно прямой, соединяющей центры подовых электродов (см. рис. 2, $\varphi=45^\circ$). В данной плоскости азимутальная составляющая ОЭМС равна нулю, поэтому в ней наблюдается плоское течение. Течение расплава аналогично показанному на рис. 4 справа от оси ванны.

Установлено, что скорость течения в меридиональной плоскости зависит от угла φ . Наиболее интенсивное течение наблюдается в двугранном угле, образованном плоскостями, проходящими через оси ванны и подовых электродов.

Отметим также, что структура и интенсивность ЭВТ не зависят от полярности постоянного

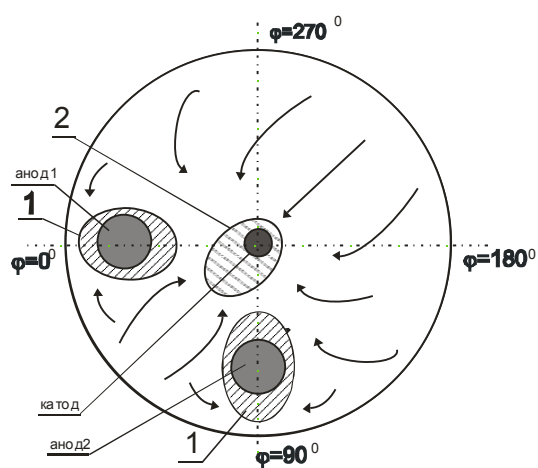


Рис. 2. Характер течения расплава на свободной поверхности:

1 – область всплытия расплава; 2 – область затягивания расплава вглубь ванны

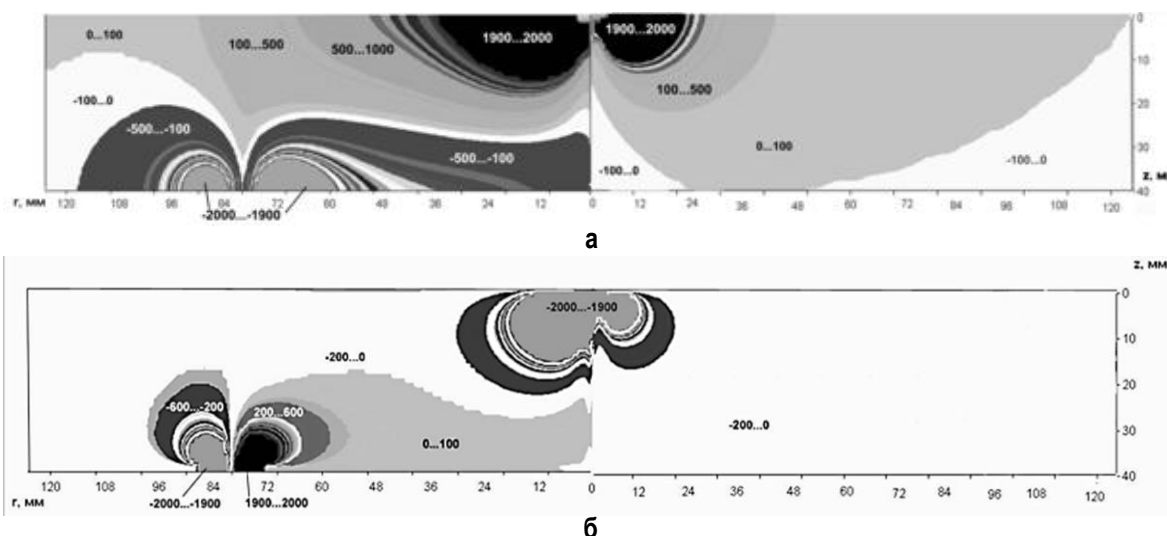


Рис. 3. Распределение осевых (а) и радиальных (б) составляющих ОЭМС в меридиональной плоскости, проходящей через ось ванны и ось одного из подовых электродов

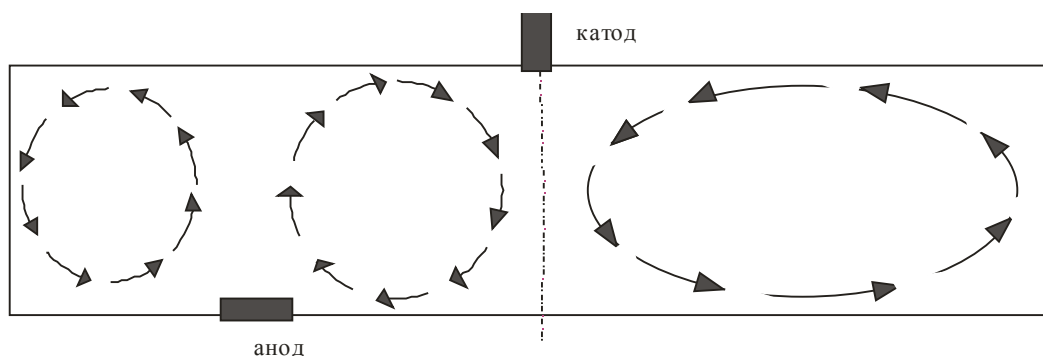


Рис. 4. Характер течения расплава в меридиональной плоскости, проходящей через оси ванны и первого подового электрода

тока и не изменяются при замене постоянного тока переменным промышленной частоты, что соответствует известным теоретическим и экспериментальным результатам [5].

Выводы. Посредством физического и компьютерного моделирования исследован характер электровихревого течения расплава по ванне ДППТ с двумя подовыми электродами при прохождении через них одинаковых токов. Определена схема течения расплава по поверхности

ванны и в меридиальной плоскости, проходящей через ось ванны и ось подового электрода. Установлено, что при равенстве токов на подовых электродах и равенстве их диаметров наблюдается симметрия распределения ОЭМС относительно плоскости, проходящей через ось ванны перпендикулярно прямой, соединяющей центры подовых электродов. Сравнение данных физического моделирования с расчетами подтверждает адекватность компьютерной модели.

Библиографический список

1. Об эффективности работы дуговых печей постоянного тока нового поколения при выплавке чугуна и стали / А.В. Афонаскин, И.Д. Андреев, Д.В. Князев и др. // Вестник МГТУ. 2005. № 1 (9). С. 26–31.
2. Ячиков И.М., Портнова И.В., Манагаров В.Н. Электромагнитные процессы в ванне дуговой печи: пакет программ. № ГР 50200501270, зарег. 31.08.2005.
3. Моделирование электромагнитных процессов в электродуговых печах постоянного тока / И.М. Ячиков, О.И. Карандаева, Т.П. Ларина, И.В. Портнова. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 140 с.
4. Ячиков И.М., Портнова И.В. Моделирование электромагнитных процессов, протекающих в ванне расплава ДППТ // Известия вузов. Черная металлургия, 2005. № 7. С. 27–29.
5. Электровихревые течения / В.В. Бояревич, Я.Ж. Фрейберг, Е.И. Шилова, Э.В. Щербинин. Рига: Зинатне, 1985. 315 с.