

# О РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ

Н.А. Игизьянова, В. И. Потапов

Необходимость расчетов электромагнитных процессов, происходящих при ЭИШ, обусловлена рядом причин, среди которых выделяется эффект воздействия пондеромоторных сил на шлаковую и жидкометаллическую ванны. Он возникает при постоянном токе и оказывает сильное негативное влияние на характер плавления электрода и состояние шлаковой и металлической ванны во время процесса переплава - электрод оплавляется неравномерно, а положение шлаковой и металлической ванн изменяется, что затрудняет нормальное протекание переплавного процесса. Поэтому исследование причин этого явления является актуальным. Перспективным методом изучения электромагнитных процессов является математическое моделирование с применением компьютерных технологий. В данной работе рассматриваются в определенной последовательности некоторые этапы решения поставленной задачи.

Ввиду цилиндрической формы печи ЭШП (рис. 1.) рассматривается осесимметричная задача [1].

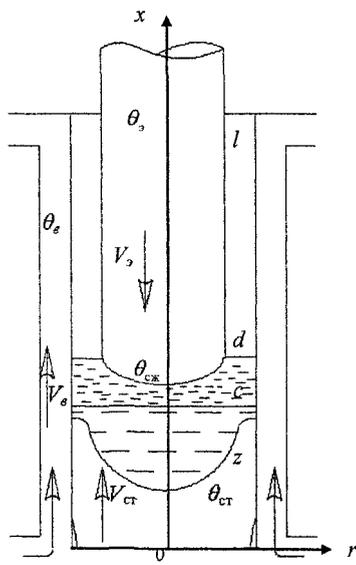


Рис. 1. Схема печи ЭШП

Уравнения, описывающие электромагнитные процессы в электроде, шлаковой ванне, в стационарном электромагнитном поле имеют вид:

1. Для описания поля потенциалов  $U$  используется уравнение Лапласа в цилиндрических координатах

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Граничные условия имеют вид:  
на свободной поверхности шлаковой ванны при

$$z = d, r = r_3 \dots R, \left. \frac{\partial U}{\partial z} \right|_d = 0; \quad (2)$$

в области входа электрода в шлаковую ванну при

$$z = d, r = 0 \dots r_3, \left. \frac{\partial U}{\partial z} \right|_d = -\frac{j_3}{\sigma}, \quad (3)$$

где  $j_3$  - плотность тока на пятне электрода,  $\text{кА}/\text{м}^2$ ;  
 $r_3, R$  - радиусы электрода и кристаллизатора,  $\text{м}$ ;  
 $I_3$  - ток в электроде,  $\text{кА}$ ;

в нижней области зоны:

$$z = c, r = 0 \dots R, \quad (4)$$

где  $c$  - координаты поверхности жидкометаллической ванны.

При численной реализации уравнений (1)-(4) использовался метод конечных разностей.

На рис. 2 приведено распределение потенциала в трех верхних слоях шлаковой ванны. При этом электрод касается своим нижним концом поверхности шлака. Из графика видно равномерное распределение значений напряжения электрического поля по всей поверхности электрода и шлака, за исключением центра кристаллизатора и границы раздела электрод - шлак.

2. По известному электрическому потенциалу определяется напряженность  $E$  электрического поля [2]

$$\vec{E} = -\nabla U, \text{ т.е. } \vec{E} = \frac{\partial U}{\partial \vec{n}}, \quad E_r = -\frac{\partial U}{\partial r}, \quad E_\varphi = -\frac{\partial U}{r \partial \varphi},$$

$$E_z = -\frac{\partial U}{\partial z} \text{ и } |\vec{E}| = \sqrt{E_r^2 + E_\varphi^2 + E_z^2}, \quad (5)$$

где  $\vec{n}$  - нормаль к боковой поверхности ванны.

На рис. 3 представлено распределение модулей векторов напряженности электрического поля в двух верхних слоях шлаковой ванны. Здесь, как и в случае распределения потенциала, наблюдается ярко выраженный эффект «всплеска» в том же самом диапазоне. Это вполне закономерно, т.к. напряжение и напряженность электрического поля имеют одинаковую природу. Однако наблюдается и существенное отличие, заключающееся в том, что резкий «скачок» напряженности имеет место лишь в верхнем слое, т.е. на поверхности зоны электрод - шлак.

3. Вычисляется плотность  $\vec{j}$  электрического тока [3]:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (6)$$

где  $\sigma$  - коэффициент электропроводности шлака,  $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$ .

Характер распределения плотности электрического тока аналогичен двум предыдущим распределениям.

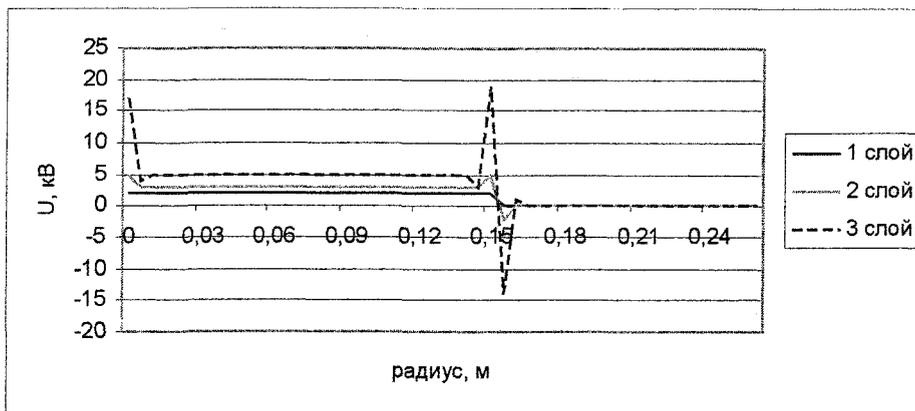


Рис. 2. Распределение поля потенциалов по радиусу в шлаковой ванне и по слоям

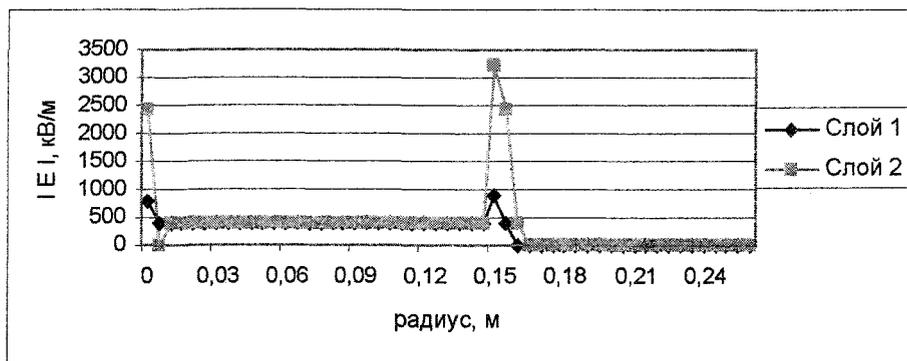


Рис. 3. Распределение абсолютных значений векторов напряженности электрического поля

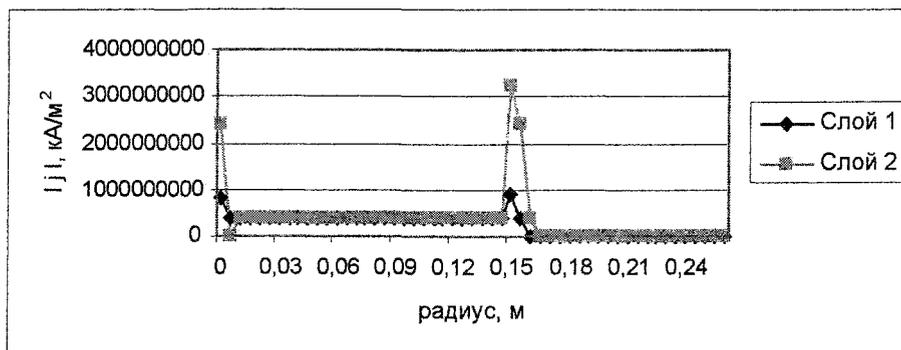


Рис. 4. Распределение абсолютных значений векторов плотности электрического тока

Полученные в работе характеристики электромагнитных процессов могут быть использованы при расчете пондеромоторных сил.

#### Литература

1. Потапов В.И., Игизьянова Н.А. Математическое моделирование тепловых и электромагнитных процессов при электрошлаковом переплаве // Теория и технология металлургического производства. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. В.Н. Носова», 2005.-Вып. 5. -С. 231-236.

2. Ячиков И.М., Портнова И.В., Манагаров В.Н. Моделирование электромагнитных процессов в ванне дуговых печей постоянного тока // Новые программные средства для предприятий Урала. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. В.Н. Носова», 2004. - С. П5-122.

3. Жукова Е.И., Пасько А.Н. О задаче определения пондеромоторных сил в трехмерном теле произвольной формы в стационарном электромагнитном поле // Математическое моделирование и краевые задачи. - Самара: СГТУ, 2005. - С. 100-102.