

УДК 621.74.043.2

В.С. Богушевский, докт. техн. наук, професор, В.Ю. Сухенко канд. техн. наук, В.В. Вовк

Национальный технический университет Украины «КПИ», Украина

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

**V.S. Bogyshevskiy, Dr., Prof., V.Y.Sukhenko, Ph.D., V.V.Vovk
TEMPERATURE CONTROL OF THE INDUCTION FURNACE**

Процесс тепловой обработки металлошихты в ванне индукционной тигельной печи (ИТП), лимитирующее звено которого – внешний теплообмен, происходит при начальных условиях, учитывающих температуру загружаемого металла и расплава, их массу, насыпную плотность загрузки, которая обуславливает эффективную поверхность теплового контакта с расплавом на границе раздела фаз, теплофизические характеристики рабочих тел, удельную мощность печи и т.д. [1]. Игнорирование этих факторов при расчете мощности нагрева ИТП снижает качество управления [2].

Целью исследований является повышение качества управления температурным режимом за счет выбора оптимальной мощности нагрева печи в период расплавления металла.

Исследования показали, что в зависимости от параметров переплавляемой шихты (ее количества, насыпной массы – размеров отдельных кусков) проплавление ее происходит с разной скоростью (табл. 1). Это приводит, с одной стороны, к перегреву жидкой части металла, а с другой, неверному регулированию мощности нагрева, так как измеритель температуры показывает температуру именно жидкой части загруженной шихты.

Таблица 1. Значение параметров плавки в зависимости от вида загрузки

Вид загрузки, ф	$\rho(\varphi)$	$\beta(\varphi)$	$\Delta\tau_y(\varphi)$	$\Delta\tau(\varphi)$	$\Delta\tau_{пл}(\varphi)$
Легкая (стружка)	300	0,33	0,0133	5,32	16,0
Средняя (литники)	600	0,20	0,0266	10,65	32,0
Тяжелая (чушки)	1300	0,10	0,0576	23,05	69,2

Здесь $\rho(\varphi)$ – насыпная плотность загрузки φ -го вида, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\beta(\varphi)$ – массовая доля твердой металлошихты φ -го вида, расплавляющейся в момент загрузки в ванну; $\Delta\tau_y(\varphi)$ – удельное значение постоянной времени переходного процесса проплавления твердой металлошихты φ -го вида, $\text{мин}/\text{кг}$; $\Delta\tau(\varphi)$ – постоянная времени переходного процесса проплавления загрузки φ -го вида, мин ; $\Delta\tau_{пл}(\varphi)$ – длительность тепловой обработки φ -го вида в ванне ИТП, мин .

Таким образом, устанавливаемая мощность нагрева в период расплавления является функцией как массы, так и размеров шихты

$$P = km_{\text{тв}}f(d) \quad (1)$$

где P – установленная мощность нагрева индукционной печи, кВт ; k – коэффициент пропорциональности, зависящий от уровня шихты, $\text{кВт}/(\text{кг} \cdot \text{м})$; $m_{\text{тв}}$ – масса загружаемой шихты, кг ; $f(d)$ – функция, зависящая от насыпной массы шихты, м .

Функцию $f(d)$ представляем как ступенчатую, соответствующую трем видам шихты: мелкокусковая ($d = 0 - 0,3 \text{ м}$), среднекусковая ($d = 0,31 - 0,6 \text{ м}$) и крупнокусковая ($d > 0,6 \text{ м}$).

Уровень шихты контролируется следующим образом.

Переменный ток $\bar{\Phi}_1$, создаваемый током индуктора, индуцирует в садке вторичный ток, создающий магнитный поток $\bar{\Phi}_2$, компенсирующий поток $\bar{\Phi}_1$. Суммарный магнитный поток $\bar{\Phi}_\Sigma$, Вб, равный

$$\bar{\Phi}_\Sigma = \bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2, \quad (2)$$

наводит в измерительном витке, расположенном над индуктором и используемом в качестве датчика уровня ЭДС индукции E , В.

Рассматривая индукционную печь как воздушный трансформатор, действующее значение ЭДС, наводимой в витке, можно представить в виде

$$E = If(h) = \frac{U \cos \phi}{R_3} f(h), \quad (3)$$

где I – действующее значение тока индуктора, А; $f(h)$ – некоторая функция от уровня h , м, расплава, В/А; U – действующее значение напряжения питания индуктора, В; $\cos \phi$ – косинус сдвига фаз между током и напряжением (коэффициент мощности); R_3 – активное эквивалентное сопротивление системы индуктор-садка, Ом.

По ходу расплавления шихты (твердой фазы) значительно изменяется активное эквивалентное сопротивление R_3 системы индуктор-садка.

Поэтому достоверно уровень расплава можно контролировать после полного расплавления шихты, т.е. когда R_3 практически уже не изменяется.

Таким образом, действующее значение ЭДС, наводимой в витке, прямо пропорционально напряжению питания индуктора и коэффициенту мощности. Для исключения влияния этих параметров, изменяющихся в зависимости от условий работы печи, на точность контроля уровня расплава в качестве контролируемой величины следует выбрать величину ψ равную отношению $\frac{E}{U \cos \phi}$.

Допуская, что магнитное поле равномерно распределяется по всей высоте как индуктора, так и садки, глубина проникновения тока в садке мала, и, пренебрегая активным сопротивлением садки, величину ψ можно представить в виде

$$\psi = k \left(D - \frac{d^2 h}{DH} \right) \quad (4)$$

где k – коэффициент пропорциональности, м^{-1} ; D – внутренний диаметр индуктора, м; d – средний диаметр садки, м; H – высота индуктора, м.

Устанавливаемая мощность нагрева в период расплавления шихты в ванне ИТП является функцией как массы, так и размеров шихты. Окончание периода расплавления шихты может фиксироваться по сигналу датчика уровня, представляющего собой ходостой виток индуктора.

Применение устройства управления температурным режимом в составе АСУ ТП ИТП дает возможность вести процесс плавки металла и его хранения с меньшими энергозатратами.

Литература.

1. Богушевський В.С. АСКТП комплексу лиття під тиском // Автоматизація виробничих процесів. – 2001. – № 2 (13). – С. 53 – 55.

2. Богушевський В.С., Антоневич Я.К. Інформаційна АСУ машинами лиття під тиском // “Матеріали для роботи в екстремальних умовах-4”, Матеріали МНТК. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2012. – С. 206 – 210.

3. Богушевський В.С., Антоневич Я.К. Прогнозування температурного режиму ванни плавильної печі // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2012. – № 2. – С. 108 – 113.