

## СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В КАМЕРНЫХ ПЕЧАХ С ВЫКАТНЫМ ПОДОМ

**Андриенко Е.Н., студент; Бирюков А.Б., проф., д.т.н.; Олешкевич Т.Г., ассистент**  
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Современное металлургическое производство характеризуется наличием высокопроизводительных технологических комплексов, потребляющих большое количество энергетических и сырьевых ресурсов, работающих в условиях быстро меняющихся технологических параметров и условий. В общей технологической цепи процессы тепловой обработки материалов являются важнейшими технологическими операциями.

От нагрева металла в большой степени зависит качество готовой продукции, производительность прокатных станов, расход энергии и другие показатели работы прокатных цехов. Правильно выбранная технология нагрева металла в сочетании с правильным режимом его пластической деформации и охлаждения может в значительной степени локализовать отдельные дефекты литой стали, улучшить все характеристики готового сорта, и, наоборот, неудачно выбранная технология нагрева может привести к образованию новых пороков и получению окончательного брака. Поэтому необходим контроль за температурным состоянием металла и агрегата в целом на протяжении всего периода нагрева. Одним из современных направлений решения задачи повышения точности реализации операции нагрева является создание соответственных систем диагностики и компонентов прогнозного управления.

Целью данной работы является создание системы диагностики процессов нагрева кузнечных слитков в камерных печах с выкатным подом. Сущность предложенной методологии заключается в использовании математического выражения для определения средней плотности теплового потока, падающего на поверхность материала, в течение краткого периода времени  $\Delta t$  в зависимости от результатов замера характерных температур продуктов сгорания, расходов топлива и продуктов сгорания:

$$\bar{q} = [\bar{V} \cdot Q_{np} \cdot \Delta \tau - \bar{Q}_{nom} \cdot \Delta \tau - \bar{V} \cdot V_{yx} \cdot c_{t_{yx}} \cdot \bar{t}_{yx} \cdot (1-k) \cdot \Delta \tau - V_k \cdot c_{t_{yx}} \cdot \Delta \bar{t}_k] / F_m \cdot \Delta \tau. \quad (1)$$

Величина тепловых потерь камеры печи рассчитывается при известном температурном состоянии футеровки в конкретный момент времени:

$$Q_{nom} = (t_{кл(n)} - t_{кл(n-1)}) \cdot \lambda_{\phi} \cdot F_{кл} / \Delta x, \text{ Вт}. \quad (2)$$

Коэффициент рекуперации определяется как:

$$k = V_g \cdot c_g \cdot \Delta t_g / \bar{V} \cdot V_{yx} \cdot c_{t_{yx}} \cdot t_{yx}. \quad (3)$$

Величина  $\Delta t_b$  определяется в результате замеров температуры холодного воздуха и его температуры в раздающем коробе перед горелками. Предложенное балансовое уравнение (1) представляет собой моментальный тепловой баланс камеры печи, который уравнивается в результате определения текущего значения средней плотности теплового потока  $\bar{q}$ , усвоенного нагреваемым металлом. Итогового коэффициента теплоотдачи к поверхности нагреваемого материала:

$$\bar{\alpha}_{\Sigma} = \bar{q} / (\bar{t}_{yx} - \bar{t}_{nos}), \quad (5)$$

Значение величины  $\bar{t}_{пов}$  берем на основании определения температурного поля заготовки на предыдущем временном шаге. Поскольку итоговый коэффициент теплоотдачи

представляет собой сумму лучистой и конвективной составляющих, зная одну из них и, определив при помощи предложенной системы величину, находим величину неизвестной составляющей [3]. В случае, если неизвестной является лучистая составляющая:

$$\alpha_l = \bar{\alpha}_\Sigma - \alpha_k = [C_{np}(t_{yx}) \cdot [((\bar{t}_{yx} + 273)/100)^4 - ((\bar{t}_{нов} + 273)/100)^4]] / (\bar{t}_{yx} - \bar{t}_{нов}) \quad (6)$$

Для случая известной зависимости приведенного коэффициента излучения от температуры и соответственно лучистой составляющей, конвективная составляющая:

$$\alpha_k = \bar{\alpha}_\Sigma - \alpha_l. \quad (7)$$

Зная значение  $\alpha_k$  для разных параметров технологии, можем определить значения коэффициентов критериального уравнения, описывающего конвективный теплообмен в конкретном агрегате.

Наличие на каждом временном шаге обозначенного комплекса информации позволяет определять текущие значения коэффициента использования топлива и к.п.д. печи:

$$\eta_{\text{кит}} = \frac{Q_{np} - V_{yx} \cdot c_{yx} \cdot (t_{yx} - t_{нов}) \cdot (1 - k)}{Q_{np}}, \quad \eta_{\text{кпд}} = \frac{q \cdot F_M}{B(\tau) \cdot Q_{np}}. \quad (8)$$

Использование разработанного метода проиллюстрировано на примере типовой нагревательной печи периодического действия с выкатным подом, в которой нагреваются кузнечные слитки под обработку давлением. Рассматриваемая печь имеет характерные параметры: ширину 4 м, длину 15 м, высоту печи 4 м, внутренняя поверхность кладки составляет 272 м<sup>2</sup>, внутренний объем камеры печи 240 м<sup>3</sup>. В печь помещаются 6 круглых заготовок длиной 5 м и диаметром 1 м, с плотностью стали при ее начальной температуре 7700 кг/м<sup>3</sup> и боковой поверхностью теплообмена заготовок 94,25 м<sup>2</sup>. Топливом для печи служит природный газ имеющий теплоту сгорания 35,8 МДж/м<sup>3</sup>. Начальная температура слитков 20<sup>0</sup>С. Коэффициент рекуперации используемого рекуператора в диапазоне используемых расходов топлива и воздуха составляет 0,3. Параметры футеровки: материал – керамоволокно; коэффициент теплопроводности  $\lambda_\phi=0,1$  Вт/(м·К); теплоемкость материала футеровки,  $c_\phi=1000$  Дж/(кг·К); плотность футеровки,  $\rho_\phi=200$  кг/м<sup>3</sup>; толщина футеровки,  $S_\phi=0,22$  м.

Для восстановления температурного поля заготовок в течении нагрева при помощи созданной методики использованы сигналы расходомера по топливу и термопары печной камеры, соответствующие обозначенным выше конструктивным параметрам печи и типовой технологии нагрева.

Для расхода топлива (м<sup>3</sup>/с):

$$V(\tau) = 0,31778 + 0,000002 \cdot \tau, \text{ если } 0 \leq \tau \leq 11090;$$

$$V(\tau) = 0,34 - 0,00002187 \cdot (\tau - 11090), \text{ если } 11090 \leq \tau \leq 20524;$$

$$V(\tau) = 0,13366 - 0,00000876 \cdot (\tau - 20524), \text{ если } 20524 \leq \tau \leq 31694.$$

Для температуры дыма (°С):

$$t_{yx}(\tau) = 961,414 + 0,02873 \cdot \tau, \text{ если } 0 \leq \tau \leq 11090;$$

$$t_{yx}(\tau) = 1280 - 0,00159 \cdot (\tau - 11090), \text{ если } 11090 \leq \tau \leq 20524;$$

$$t_{yx}(\tau) = 1265 - 0,0004476 \cdot (\tau - 20524), \text{ если } 20524 \leq \tau \leq 31694.$$

Из расчета горения топлива для условий изучаемого агрегата имеем: удельный выход продуктов сгорания 11,123 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, действительное количество воздуха на горение 10,123 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. При реализации данной системы диагностики получено температурное поле заготовки, представленное на рисунке 1.

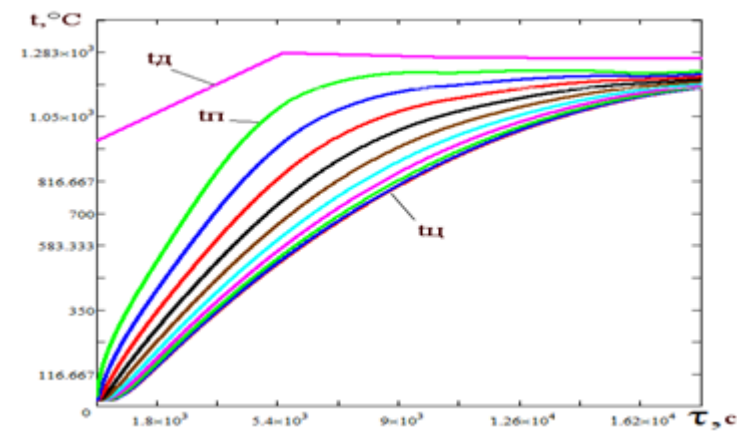


Рисунок 1 – Температурное поле заготовок, восстановленное при помощи системы диагностики (td- температура дыма, °C; tp- температура поверхности заготовки, °C; tc- температура центра заготовки, °C)

На рис. 2 температурное поле заготовки представлено 10 линиями (толщина заготовки от ее центра до поверхности разбита на 9 равных промежутков толщиной по 54мм). Рассчитав плотность теплового потока, падающего на поверхность материала, в течение короткого периода времени  $\Delta t$ , определяем при помощи зависимостей (8) моментальные значения КИТ и КПД. На рис. 2 представлено изменение во времени названных величин для рассматриваемого агрегата и технологии нагрева.

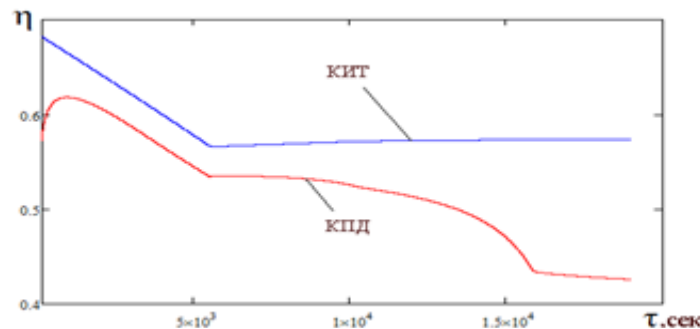


Рисунок 2 – Значение КИТ и КПД, восстановленное при помощи системы диагностики

Таким образом, предложенная система диагностики позволяет отслеживать реальное тепловое состояние металла, осознанно корректировать режим тепловой обработки, достигая заданных параметров нагрева с более высокой точностью, затрачивая при этом, минимально необходимое количество времени и топлива, может использоваться в качестве основы создания компонентов прогнозного управления тепловой работы камерных печей с выкатным подом. Предложенная разработка предоставляет также возможность более эффективного использования энергоресурсов и контроля расхода топлива.

#### Перечень ссылок

- 1.Ткаченко В.Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов. Том 13. Серия «Задачи и методы: математика, механика. Кибернетика».– Киев: Наукова думка, 2008.– 244 с.
- 2.Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование промышленных печей: Учебник для вузов.–М.: Металлургия, 1990.– 239с.
- 3.Бирюков А.Б. Энергоэффективность и качество тепловой обработки материалов в печах: Монография / А.Б.Бирюков. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2012.- 248 с.
- 4.Лисиенко В.Г., Волков, В.В., Гончаров А.Л. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатах.– Киев: Наукова думка, 1984.– 232с.