

УДК 669.162.238:658.52.011.56

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ МЕТАЛЛА В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Захарова Е.В., к.т.н., доцент кафедры систем управления

Татаринова С.С., студент

Быков Е.П., студент (evgenii.bykov@mail.ru)

Ивановский государственный энергетический университет

(153003, Россия, Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34)

Аннотация. Рассматриваются вопросы информационного и математического обеспечения АСУТП нагрева металла в нагревательных печах периодического действия с использованием текущей информации о скорости роста среднemasсовой температуры металла и скорости роста окалины.

Ключевые слова: нагрев металла, оптимизация управления, критерий минимума, среднemasсовая температура металла, толщина окалины.

Оптимизация управления нагревом металла в технологической системе «нагревательное отделение – прокатный стан» представляет собой многокритериальную задачу выбора оптимального управляющего воздействия на металл для изменения его среднemasсовой температуры от температуры посадки t_0 до заданной $t_{срм}^{зад}$ за время нагрева T при существующих ограничениях.

Экономический критерий оптимальности управления имеет вид [1]:

$$J = \gamma_1 \int_0^T (F_1[S, \tau], \tau) d\tau + \gamma_2 \int_0^T \frac{V_T(\tau)}{Mn} d\tau \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где γ_1, γ_2 – стоимость затрат на нагрев 1 т металла, руб/т; n – число слитков в садке; M – масса слитка, т; F_1 – количество окалины, образующейся на поверхности слитка в процессе нагрева, т/ч; $t(S, \tau)$ – температура поверхности слитка; $V_T(\tau)$ – расход топлива, м³/ч.

Как видно из уравнения (1), эффективность управления нагревом металла определяется совокупностью критериев: временем нагрева T , количеством окалины F , расходом топлива V_T .

В различных производственных ситуациях технологической системы «нагревательное отделение – прокатный стан» критерии качества управления нагревом металла можно свести к трем типам:

- критерий минимума времени нагрева металла

$$J = \int_0^T d\tau = T; \quad (2)$$

- критерий минимума отклонения среднemasсовой температуры от заданной температуры за заданное время

$$J = \int_0^T [t_{срм}^{зад} - t(\tau)]^2 d\tau; \quad (3)$$

- критерий минимума интеграла от функции состояния металла и управления при заданном времени нагрева

$$J = \int_0^T \left(\{t_{срм}^{зад} - t(\tau)\}^2 + K \{ \Delta_3 - [t_{пов}(\tau) - t_{срм}(\tau)] \}^2 \right) d\tau, \quad (4)$$

где K – весовой коэффициент участия составляющих; Δ_3 – заданная равномерность нагрева, К.

Все приведенные критерии качества управления в экономическом выражении имеют вид критерия (1). Типовые задачи управления нагревом металла с различными критериями качества (2) – (4) решены с использованием принципа максимума [1].

Математическое обеспечение АСУТП нагрева металла включает модель нагрева металла с граничными и начальными условиями, модель роста окалины, алгоритмы решения уравнения теплопроводности при граничных условиях I и III рода, алгоритмы расчета среднemasсовой температуры металла, алгоритмы расчета количества окалины, алгоритмы расчета кусочно-непрерывной управляющей функции $V_T(\tau)$.

Математическое обеспечение можно существенно упростить, если использовать информацию о параметрах текущего теплового состояния нагреваемого металла.

В работе рассматриваются вопросы информационного и математического обеспечения АСУТП нагрева металла в нагревательных печах периодического действия с использованием текущей информации о скорости роста среднemasсовой температуры металла и скорости роста окалины [2, 3].

Датчик параметров теплового состояния выполнен из металла, нагреваемого в печи, и представляет собой физическую модель процесса нагрева: он моделирует процессы внешнего и внутреннего теплообмена и создает первичную информацию по среднemasсовой температуре металла и толщине окалины.

Информационно-вычислительная система реализует алгоритмы вычисления скорости роста среднemasсовой температуры и скорости роста окалины. Выходная информация информационно-измерительной системы является входной для алгоритмов расчета кусочно-непрерывной управляющей функции, полученной по принципу максимума.

Использование текущей информации по среднemasсовой температуре металла и толщине окалины позволяет реализовать квазиоптимальное управление в различных производственных ситуациях нагрева металла с критерием качества (2) – (4).

Вопрос разработки эффективных алгоритмов управления по информации о скорости роста среднemasсовой температуры, т. е. по усвоенному металлом тепловому потоку, представляет отдельную задачу и подробно рассмотрен в работах [4 – 5].

Эффективность управляющего воздействия V_T в формировании критерия (1) определяется локальными

$$\text{критериями } K_1 = \frac{\partial t_{\text{срм}}}{\partial \tau V_T} \text{ и } K_2 = \frac{\partial F}{\partial \tau V_T}.$$

Сложность многокритериальной задачи управления нагревом металла обусловлена противоречивостью локальных критериев, что требует разработки модели справедливого компромисса критериев и ранжирования приоритетов критериев в различных производственных ситуациях нагрева металла. Модели справедливого ком-

промисса соответствует интегральный критерий, полученный мультипликативным методом свертки локальных критериев $K = \prod_i K_i$, где K_i – локальные критерии.

$$\text{Для задачи нагрева металла } K = \frac{\partial F}{\partial t_{\text{срм}}}.$$

Принцип справедливого компромисса реализуется автоматизированной системой управления среднemasсовой температурой металла с корректирующим воздействием от датчика скорости роста окалины.

Выводы. Применение предлагаемого информационного и математического обеспечения АСУТП нагрева металла в нагревательных печах периодического действия позволяет улучшить качество нагрева материала, а так же повысить экономичность печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Н.И., Парсункин Б.Н., Рябков В.М. Автоматизация производственных процессов в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1980. – 303 с.
2. Захарова Е.В., Вьюгина М.С., Соколова А.А. Информационно-вычислительная система определения параметров состояния металла в нагревательной печи периодического действия // Металлург. 2013. № 11. С. 27 – 28.
3. Пат. 118748 РФ. Устройство для определения толщины окалины / Е.В. Захарова, У.Д. Галанова, А.А. Морозов; заявл. 22.12.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.
4. Пат. 2030462 РФ. Система автоматического регулирования косвенного радиационного режима нагревательной печи периодического действия / Е.В. Захарова, С.И. Девочкина, Г.Г. Кузнецов; заявл. 10.02.92; опубл. 10.03.95, Бюл. № 7.
5. Девочкина С.И., Захарова Е.В., Кузнецов Г.Г. Управление нагревом металла в камерных печах аperiodического действия // Изв. вуз. Черная металлургия. 1989. № 6. С. 124 – 126.

Поступила 28 января 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2015. VOL. 58. NO. 3, PP. 200–201.

OPTIMIZING THE CONTROL OF METAL HEATING IN BATCH HEATING FURNACES

Zakharova E.V., Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Control Systems

Tatarinova S.S., Student

Bykov E.P., Student (evgenii.bykov@mail.ru)

Ivanovo State Power University (34, Rabfakovskaya str., Ivanovo, 153003, Russia)

Abstract. The paper describes the issues of informational and mathematical support of the control system of metal heating in batch heating furnaces using the current information on the growth rate of average temperature of the metal and the increasing rate of scale.

Keywords: metal heating, control optimization, the criterion minimum, average temperature of the metal, the thickness of the scale.

REFERENCES

1. Ivanov N.I., Parsunkin B.N., Ryabkov V.M. *Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v chernoi metallurgii* [Automation of pro-

duction processes in the steel industry]. Moscow: Metallurgiya, 1980. 303 p. (In Russ.).

2. Zakharova E.V., V'yugina M.S., Sokolova A.A. Computer information system for determining the state parameters of metal in a batch-operated heating furnace. *Metallurgist*. 2014, vol. 57, no. 11–12, pp. 965–967.
3. Zakharova E.V., Galanova U.D., Morozov A.A. *Ustroistvo dlya opredeleniya tolshchiny okaliny* [The device for determining the thickness of scale]. Patent RF no. 118748 RF. *Byulleten' izobretenii*. 2012, no. 21. (In Russ.).
4. Zakharova E.V., Devochkina S.I., Kuznetsov G.G. *Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya kosvennogo radiatsionnogo rezhima nagrevatel'noi pechi periodicheskogo deistviya* [The automatic control system of indirect radiation mode of the batch heating furnace]. Patent RF no. 2030462 RF. *Byulleten' izobretenii*. 1995, no. 7. (In Russ.).
5. Devochkina S.I., Zakharova E.V., Kuznetsov G.G. Control of metal heating in the chamber of furnaces with aperiodic action. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 1989, no. 6, pp. 124–126. (In Russ.).

Received January 28, 2015