

ПОДСИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СЛИТКОВ НА УЧАСТКЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛОДЦЕВ.

Ткаченко В.Н. докт. тех. наук., проф., Яремко И.Н. аспирант,
Донецкий государственный технический университет

Предложена математическая модель температурного процесса нагрева металла. Рассмотрены основные функции подсистемы оперативного прогноза теплового состояния слитков на участке нагревательных колодцев.

Basic control subsystem functions by compartment of soakers are offered. On the basis of nonlinear heat conduction equations mathematical model of materials thermal processing is developed.

В общей технологической цепи процессы тепловой обработки материалов являются важнейшими технологическими операциями, во многом определяющими качество и энергоемкость готовой продукции. Качество готовой продукции в значительной степени определяется способностью систем управления обеспечить точность воспроизведения технологических параметров обработки сырья и материалов.

Анализ опыта создания и функционирования первых отечественных и зарубежных систем управления свидетельствует о необходимости совершенствования всего комплекса технических проблем, связанных с разработкой высокоорганизованных систем управления методами построения математических моделей и алгоритмов управления, приведение их в более полное соответствие разнообразным условиям функционирования нагревательных устройств.

Одной из функций системы управления отделением нагревательных колодцев является оперативная оценка теплового состояния нагреваемого в колодцах металла, а также выдавать прогноз времени готовности слитков к выдаче [1]. Целью математического моделирования процесса нагрева металла, является обеспечение СУ ОНК достоверной информацией о температурном состоянии нагреваемого металла от момента посадки до выдачи. Для построения модели

необходимо иметь некоторую оперативную информацию о движении слитков.

Перед прокаткой на обжимном стане дополнительному нагреву в нагревательных колодцах подвергаются слитки полученные в Мартеновском конверторном или электросталеплавильном цехах.

Для нагрева слитков перед прокаткой служат N групп нагревательных колодцев. Каждая группа нагревательных колодцев состоит из двух, независимых друг от друга ячеек. Емкость ячейки зависит от ее размера и массы и размеров слитка.

Современные камерные колодцы являются камерными печами периодического действия, работающими по переменному во времени тепловому и температурному режиму. Нагрев металла осуществляется садками, ячейки колодцев после выдачи из них всех нагретых слитков вновь загружают новой партией слитков.

В зависимости от температуры посадки слитков и марки стали, ячейки разогреваются или охлаждаются в соответствии с установленными нормами.

Передача слитков из сталеплавильных цехов в пролет нагревательных колодцев производится поплавно и только после назначения ОТК всей плавки.

В одну ячейку производят посадку, как правило, слитков одной плавки. Для более полного использования колодцев разрешается посадка в одну ячейку слитков не более двух плавков одной или разных групп марок стали при разрыве во времени в посадке плавков не более 1 часа. Нормальная садка одного колодца зависит от массы слитка.

Таким образом, входной информацией для разрабатываемой подсистемы будут следующие параметры:

- время посадки;
- время выдачи (плановое);
- номер партии (плавки);
- размер партии (плавки);
- марка стали, которая позволит установить теплофизические характеристики металла – теплоемкость, теплопроводность, плотность;
- коэффициенты, характеризующие условия лучистого и конвективного теплообмена в рабочем пространстве;
- размеры слитка;
- температура посадки;

- оперативная информация о температуре греющей среды
 - временные характеристики процесса нагрева.
- Выходная информация подсистемы – информация, полученная от модели:
- температурное распределение по сечению каждой заготовки в любой момент времени;
 - среднemasсовая температура, а также температурный перепад по сечению;
 - прогнозируемое время готовности слитков к выдаче.

Таким образом, структуру технических средств подсистемы можно представить таким образом:



Рисунок 1. Структура технических средств подсистемы.

В качестве устройств измерения температуры в рабочей зоне могут служить термопары, фотопирометры. Для устойчивого принятия сигналов с датчиками необходимо устройство сопряжения (устройство выборки хранения). Далее сигнал преобразуется и считывается через устройство сопряжения (контроллеры) управляющей вычислительной машины.

Математическое моделирование процесса нагрева металла связано с решением уравнения теплопроводности.

Поскольку слитки в сечении представляют собой прямоугольник, то и нагрев будет происходить неравномерно по сечению, поэтому вводим двумерную модель со следующими граничными условиями:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq b, & y = 0 \\ x = 0, & 0 \leq y \leq a \\ 0 \leq x \leq b, & y = a \\ x = b, & 0 \leq y \leq a \end{cases}$$

где a и b – ширина и толщина слитка.

Модель учитывает зависимость теплофизических свойств материала от температуры и имеет вид:

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial y} \right], \quad (1)$$

$$\lambda(T)\frac{\partial T(0,y,\tau)}{\partial x} = \sigma_1 \left\{ [\bar{U}(\tau)]^4 - [T(0,y,\tau)]^4 \right\} + \alpha_1 [\bar{U}(\tau) - T(0,y,\tau)], \quad (2)$$

$$\lambda(T)\frac{\partial T(x,0,\tau)}{\partial y} = \sigma_2 \left\{ [\bar{U}(\tau)]^4 - [T(x,0,\tau)]^4 \right\} + \alpha_2 [\bar{U}(\tau) - T(x,0,\tau)], \quad (3)$$

$$\lambda(T)\frac{\partial T(b,y,\tau)}{\partial y} = \sigma_3 \left\{ [\bar{U}(\tau)]^4 - [T(b,y,\tau)]^4 \right\} + \alpha_3 [\bar{U}(\tau) - T(b,y,\tau)], \quad (4)$$

$$\lambda(T)\frac{\partial T(x,a,\tau)}{\partial y} = \sigma_4 \left\{ [\bar{U}(\tau)]^4 - [T(x,a,\tau)]^4 \right\} + \alpha_4 [\bar{U}(\tau) - T(x,a,\tau)], \quad (5)$$

$$T(x,y,0) = T_0(x,y), \quad (6)$$

Температура греющей среды рабочего пространства (управляющее воздействие) аппроксимируется во времени линейными и кусочно-постоянными функциями в соответствии с трехступенчатым режимом нагрева слитка:

$$\bar{U}(\tau) = \begin{cases} U_1(\tau) = U_1^0 + C\tau, & 0 \leq \tau \leq \tau_1, \quad C - const \\ U_i(\tau) = U_i, & \tau_{i-1} \leq \tau \leq \tau_i, \quad i = 2, 3, \dots \end{cases} \quad (7)$$

В системе уравнений (1)-(7):

$T(x,y,\tau)$ – функция, характеризующая распределение температуры по сечению нагреваемого тела в момент времени τ ;

$c(T), \lambda(T), \rho(T)$ – коэффициенты теплоемкости, теплопроводности и плотности металла соответственно;

σ_i, α_i – коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена на противоположных поверхностях слитка (2)-(5).

U_1^0 – температура греющей среды в момент посадки слитков;

$U_1(\tau), U_2, U_3$ - температура греющей среды в период времени подъема $0 < \tau \leq \tau_1$, ускоренного нагрева $\tau_1 < \tau \leq \tau_2$ и выдержки $\tau_2 < \tau \leq \tau_3$ соответственно;

C - константа, определяющая скорость подъема температуры в первый период времени (величина C может ограничиваться термическими напряжениями в металле, а также дефицитом природного газа)

При заданных величинах C , длительности каждого периода $i=1,3$ трехступенчатый температурный режим колодца задается фактически двумя величинами U_i $i=2,3$ температуры греющей среды во временные периоды ускоренного нагрева и выдержки.

Математическая модель (1) - (7) позволяет рассчитать процесс внутреннего теплообмена и предполагает, что все параметры внешнего теплообмена, в том числе температура греющей среды U , известны. Модель учитывает зависимость теплофизических свойств материала от температуры, что позволяет более точно описать процесс нагрева.

Для реализации математической модели процесса нагрева металла (1)-(7) на ЭВМ воспользуемся методом конечных разностей явной схемой аппроксимации.

Вводя равномерную сетку по сечению слитка и преобразовав выражения (1)-(7) с заменой непрерывных функций на сеточные получаем систему конечно-разностных уравнений, которая может быть представлена к решению на ЭВМ.

Переходя от слоя к слою, можно получить значения функций $T(x_i, y_i, \tau_j)$ во всех точках сетки.

Таким образом достигнута цель математического моделирования процесса нагрева металла - обеспечение системы управления отделением нагревательных колодцев достоверной информацией о температурном состоянии нагреваемого металла от момента посадки до выдачи.

Список источников.

1. Ткаченко В.Н, Яремко И.Н. Автоматизированная система управления отделением нагревательных колодцев// Наукові праці донецького державного технічного університету. Серія обчислювальна техніка та автоматизація, Випуск 20.- Донецьк : ДонДТУ, 2000. с.107-113.