

Автоматизация процесса нагрева металла перед прокаткойПоливанчук А.С., sensey_90@mail.ru

Научный руководитель – Василец С.В.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Термическая обработка слэбов перед прокаткой или ковкой в проходных методических печах выполняется с целью доведения материала до требуемой температуры на поверхности и по сечению заготовки при соблюдении технологического режима нагрева [1, 2]. Для выполнения поставленной задачи используют нагревательные печи, наиболее распространенными и перспективными в развитии среди которых являются многозонные проходные методические печи.

Методическая печь – это сложная техническая установка, предназначенная для нагрева металла до необходимых параметров (температуры на поверхности металла и по его толщине) при соблюдении технологических параметров нагрева (скорость подачи материала и его продвижения, температуры по зонам, время нахождения металла в агрегате) и относится к печам непрерывного действия.

Для ведения качественного и экономичного процесса нагрева слэбов необходимо автоматизировать данный процесс, минимизировав брак готовой продукции при этом уменьшая её себестоимость (путем снижения затрат на топливо).

К основным задачам управления процессом нагрева металла в методической печи (МП) относят:

1. Упрощение эксплуатации системы автоматического управления.
2. Возможность своевременного изменения температурного режима в зонах МП.
3. Максимальное уменьшение погрешности при регулировании температуры по зонам МП.
4. Снижение расходов на ремонт и обслуживание оборудования.
5. Получение экономического эффекта от рационального использования энергоресурсов, а именно экономичного использования топлива.

Учитывая требования к нагреву заготовок, возникает потребность в автоматизации методических печей. Наиболее актуальными вопросами, среди которых являются:

- управление температурным режимом по зонам МП;
- изменение температуры на поверхности заготовки;
- изменение температуры по толщине заготовки;
- изменение расхода газовой смеси;
- управление скоростью прохождения материала по длине МП;
- контроль давления в рабочем пространстве и др.

В данной работе поставлена задача регулирования температуры в рабочем пространстве методической печи, а также поддержания требуемого давления.

Регулирование температуры по зонам методической печи будем выполнять с помощью изменения расхода газа - воздушной смеси, давления – изменением положения загрузочного и выдающего окон.

Целесообразность автоматизации регулирования температурным режимом обусловлена внедрением на металлургических предприятиях технических средств регулирования нагрева взамен устаревших горелок постоянной мощности.

Дифференциальное уравнение состояния нагреваемого слэба для граничных условий третьего рода имеет вид [1]:

$$dT_M/dt = m \cdot (T_\theta - T_M), \quad (1)$$

где $T_\theta = T_\theta(t)$ - температура дымовых газов в функции времени; T_M - температура металла; $m = \frac{a \cdot k_1}{m \cdot R \cdot r \cdot c_m}$ - коэффициент, зависящий от вида граничных условий, материала

и геометрической формы слэба; a - коэффициент теплоотдачи; k_1 - коэффициент материальной нагрузки; R - радиус слитков; r - плотность металла; c_m - удельная теплоемкость металла; m - коэффициент массивности тела, определяемый зависимостью:

$$m = 1 + \frac{k_3 - 1}{k_2 \cdot k_3} \cdot Bi, \quad (2)$$

причем k_2 - коэффициент усреднения плотности теплового потока, который зависит от формы изделия и условий нагрева; $k_3 = (k_1 + 2)/k_1$ - коэффициент усреднения расслоения температуры; $Bi = a \cdot R/l$ - коэффициент Био; R - толщина прогреваемого слоя (размер тела); l - коэффициент теплопроводности материала.

Задача оптимизации температурного режима нагрева металла по минимуму расхода топлива заключается в выборе такого управляющего воздействия $T_\theta(t)$, которое за весь процесс нагрева заготовки обеспечит наименьшие затраты химического тепла сжигаемого топлива [1]:

$$Q_{хим}(t_k) = T_p \int_0^{t_k} \frac{q \cdot F_M + Q_{ном}}{T_p - T_\theta} dt = \min, \quad (3)$$

где t_k - общая продолжительность нагрева; T_p - расчетная температура газов; F_M - площадь теплопринимающей поверхности слитков; $Q_{ном} = k \cdot F_{кл} \cdot (T_\theta - T_\theta)$ - тепловые потери печи, пропорциональные температуре греющей среды; T_θ - температура окружающего воздуха; k - коэффициент теплопередачи через кладку; $F_{кл}$ - площадь наружной поверхности кладки; $q = \frac{a}{m} \cdot (T_\theta - T_\theta)$ - плотность теплового потока.

С учетом выражений для тепловых потерь печи и плотности теплового потока критерий оптимальности нагрева металла с наименьшими затратами химического тепла топлива имеет вид:

$$Q_{хим}(t_k) = M_0 \cdot \int_0^{t_k} \frac{(T_\theta - T_M) + k_{ном} \cdot (T_\theta - T_\theta)}{T_p - T_\theta} dt, \quad (4)$$

где $M_0 = \frac{a \cdot F_M \cdot T_p}{m}$; $k_{ном} = \frac{m \cdot k \cdot F_{кл}}{a \cdot F_M}$ - коэффициент относительных потерь тепла.

Математическая зависимость изменения температуры в зоне от количества сжигаемого топлива имеет вид:

$$t_{жар.} = \frac{Q_n^p}{V_{н.з.} \cdot C_0^{t_{жар.}}}, \quad (5)$$

где: $t_{жар.}$ - температура жаропродуктивности;

$Q_n^p = 42$ кДж/м³ – теплота сгорания природного газа низшая рабочая;

$C_0^{t_{жар.}} = 1,550$ кДж*м³/К – теплоемкость природного газа при заданной жаропродуктивности;

$V_{н.з.}$ м³ – объем природного газа, подаваемого на горелки.

Искомая функция регулирования во времени имеет следующий вид:

$$\frac{dt_{жар.}}{dt} = \frac{Q_n^p}{V_{н.з.} \cdot C_0^{t_{жар.}}} = \frac{42000}{V_{н.з.} \cdot 1550} = \frac{27.1}{V_{н.з.}}. \quad (6)$$

На рисунке 1 представлен алгоритм регулирования температурой и давлением в рабочем пространстве МП.

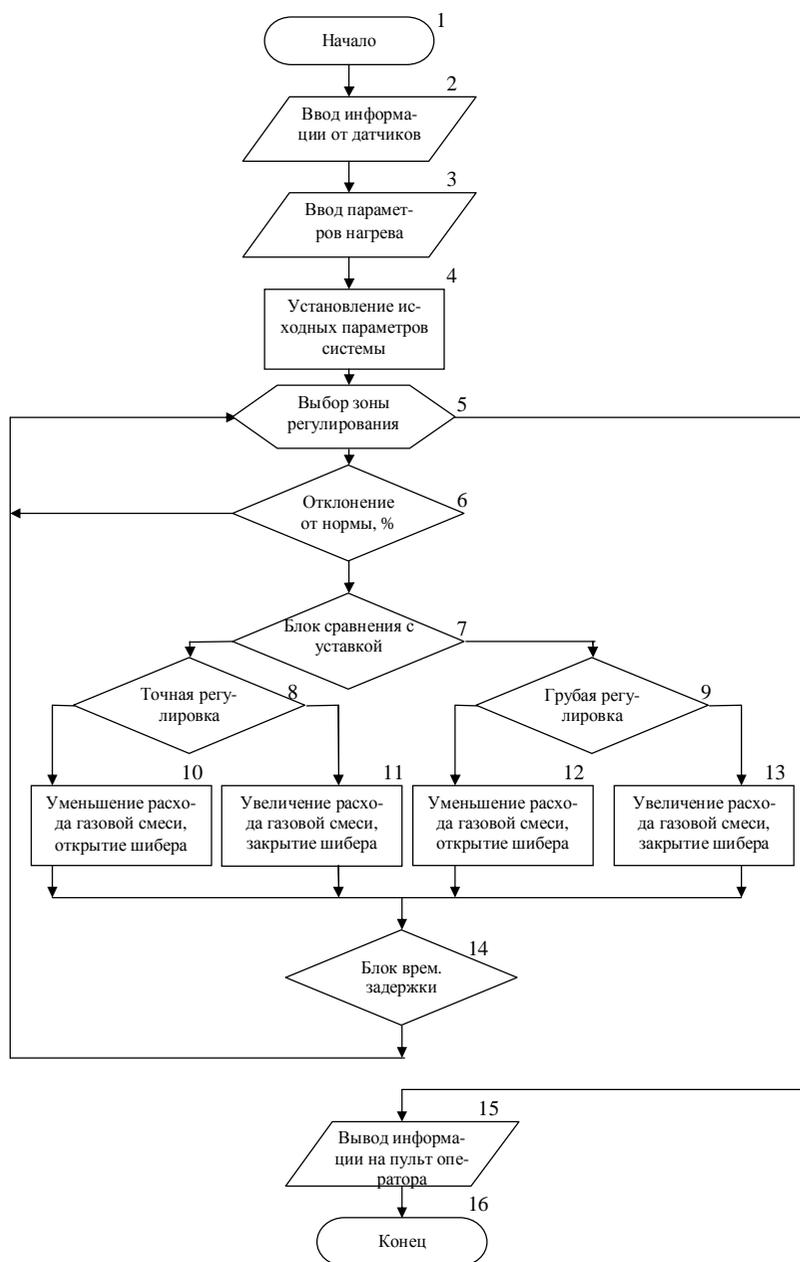


Рисунок 1 – Алгоритм регулирования температурным режимом МП

При разработке алгоритма управления температурным режимом нагревательной методической печи будем использовать два контура регулирования [3]:

- грубой регулировки, с изменением расхода газо - воздушной смеси и давления в рабочем пространстве в размере 5% от действительного значения;
- точной регулировки, с изменением расхода газо - воздушной смеси в размере 2% от действительного значения, изменения давления в рабочем пространстве - 1%.

В соответствии с разработанным алгоритмом управления температурным режимом нагревательной методической печи, для системы автоматизации была разработана структурная схема - рисунок 2.

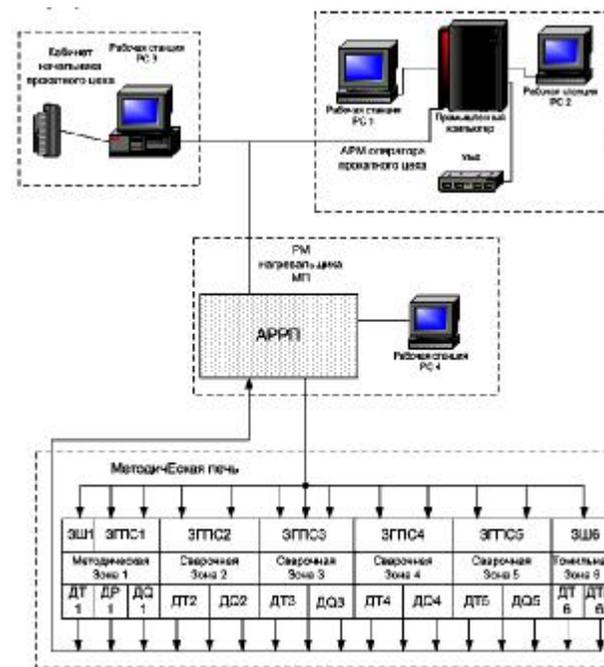


Рисунок 2 – Структурная схема системы автоматизации нагрева металла перед прокаткой

На данной структурной схеме приведены четыре основных структурных блока:

- шестизонная методическая печь, как объект автоматизации;
- рабочее место нагревальщика методической печи;
- автоматическое рабочее место оператора прокатного цеха;
- кабинет начальника прокатного цеха.

Методическая печь состоит из шести зон, при этом в первой и шестой зонах имеется необходимость в поддержании давления на требуемом уровне; в зонах с первой по пятую, включительно - регулирование температуры в рабочем пространстве с помощью изменения расхода газо - воздушной смеси.

В качестве средств отбора информации использованы следующие элементы:

- ДТ1, ДТ2, ДТ3, ДТ4, ДТ5, ДТ6 - датчики температуры соответственно с первой по шестую зоны;

- ДQ1, ДQ2, ДQ3, ДQ4, ДQ5 - датчики расхода газо - воздушной смеси;
 - ДТм - датчик температуры металла на выходе из методической печи.
- Структурная схема АРПП приведена на рисунке 3

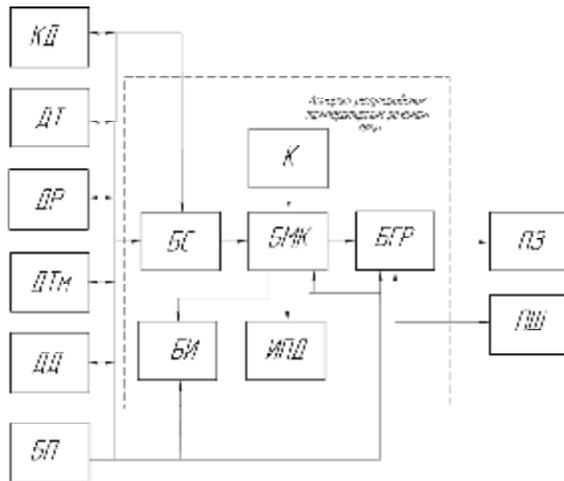


Рисунок 3 – Структурна схема аппарата регулирования работой печи АРПП

От датчиков температуры (ДТ), датчиков расхода (ДР), датчиков температуры металла (ДТм), датчиков давления (ДД) и концевых датчиков (КД) информация по линиям связи поступает в блок согласования (БС), в котором приводится к стандартному сигналу и передается в блок микроконтроллерный (БМК). В БМК обрабатываются полученные данные, сравниваются с уставками, после чего формируется сигнал управления приводами задвижек (ПЗ) и шиберов (ПШ) через блок гальванической развязки (БГР). Клавиатура (К), используется для ввода требуемых параметров (уставок); интерфейс передачи данных (ИПД) позволяет передавать информацию о протекании технологического процесса во внешние контуры регулирования; блок индикации (БИ) используется для просмотра оператором интересующей его информации о ходе технологического процесса.

В данной работе была разработана система автоматизированного управления шести-зонной проходной методической печью для нагрева слябов перед прокаткой, с использованием двухконтурного регулирования (грубая и точная регулировка), что позволяет поддерживать параметры работы печи на требуемом уровне и с максимальной точностью. Система лишена избыточной колебательности, за счет применения узла временной задержки и выполнена с использованием микроконтроллерной техники, что в сочетании с использованием горелок средней и малой мощности, со значительным коэффициентом регулирования, позволяет изменять тепловой режим в рабочем пространстве в широких пределах.

Перечень ссылок

1. Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки в металлургии: [учебн. пос.] / М.П. Ревун, Б.Б. Потапов, В.М. Ольшанский, А.В.Бородулин. – Запорожье: ЗГИА. – 2002. - 443 с.
2. Расчет автоматических систем контроля и регулирования металлургических процессов / Кравцов А.Ф., Зайцева Е.В., Чуйко Ю.Н. – К., Донецк: Вища школа. - 1981. - 320 с.
3. Тайц Н.Ю., Розенгарт Ю.И. Методические нагревательные печи. М.: Металлургиздат, 1964 - 408 с.