

Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Абдуллаев У.Д.

**БУЮМДАРДЫ ТЕРМИКАЛЫК ИШТЕТҮҮДӨ МЕШТИН ТЕМПЕРАТУРАСЫН
АВТОМАТИКАЛЫК СИСТЕМА АРКЫЛУУ БАШКАРУУНУ ИШТЕП ЧЫГУУ**

Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Абдуллаев У.Д.

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕЧИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ**

B.M. Joldoshev, V.S. Muratov, U.D. Abdullaev

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF THE
FURNACE DURING HEAT TREATMENT FURNACE PRODUCTS**

УДК: 669.01 (075.8)

Электр жана газ мештериндеги температураны автоматикалык система аркылуу, аткаруу элементтеринин математикалык моделдери иштелип чыккан, проект төөдөгү жана жасоодогу негизги керектөөчү параметрлер эсептелген.

Негизги сөздөр: автоматикалык система, термоциклдик, жылуулук турактуулук, катуулук, ыкчам сугаруу, электрдик жана газдык мештер.

Разработана автоматическая система регулирования температуры электрической и газовой печей, математические модели их исполнительных элементов, позволяющие произвести расчет основных параметров, необходимых для проектирования и изготовления.

Ключевые слова: автоматическая система, термоциклирование, теплостойкость, твердость, форсированное охлаждение, электрическая и газовая печи.

Development of the automatic temperature control system of electric and gas furnaces, mathematical model of the actuators that allow to calculate the key parameters necessary for the design and manufacture.

Key words: automatic temperature control system, thermo cycling, thermal endurance, hardening, tempering, forced cooling, electric and gas ovens.

Термическая обработка сплавов является наиболее характерным и хорошо изученным процессом, базирующимся на наличии в ней аллотропических превращений, происходящих при нагреве и охлаждении в области определенных критических температур. Управляемые структурно-фазовые процессы в стали, которые обеспечивают получение требуемой фазовой и дислокационной структуры, происходят вследствие наличия аллотропии [1].

Проблема управления тепловым режимом заготовок с целью получения желаемой структуры и свойств приводит к необходимости движения объектов по определенной траектории в пространстве температура – время или координата температура – время. В частности рассмотрены системы: заготовка – инструмент – проточный охладитель; заготовка – воздух

– нагревательная печь; заготовка – спрейер; стопа заготовок в печи. За исключением последней, все задачи решены для системы с распределенными параметрами. Решения получены численно с использованием градиентных функций Лагранжа в соответствии с методикой, изложенной в работах Бутковского А.Г. с сотрудниками [2,3].

Известно, что для нагрева изделий перед термообработкой широко применяются электрические и газовые печи. Для получения качественных изделий нагрев осуществляется до определенной температуры или ее необходимо менять по определенному закону, поэтому возникает необходимость разработки автоматической системы регулирования, результаты, полученные на основе экспериментальных исследований приведены в [4,5].

В данном случае регулируемым объектом служит электрическая или газовая печь. Регулируемой величиной является температура печи, которую либо надо поддерживать постоянно или менять по заранее заданному закону.

Структурная схема автоматической системы регулирования температуры печи показана на рис. 1.

Если рассмотреть в качестве объекта электрическую и газовую печь, то X_1 – регулируемая величина – температура; измерительным устройством является устройство, преобразующее тепловую энергию в электрическую – термопара или терморезистор, на выходе имеем электрический сигнал X_2 , поступающий в сумматор. Туда же поступает электрический сигнал X_0 от программного заданного устройства, который определяет закон нагрева печи. Сигнал рассасывания $X_3 = X_2 - X_0$ является маломощным, поэтому он усиливается по мощности усилительно-преобразовательным устройством до величины X_4 .

Усиленный сигнал X_4 воздействует на исполнительный орган, и его сигнал X_5 осуществляет регулирование выходного сигнала X_1 , поддерживая его постоянное значение или меняя его заранее заданному закону.

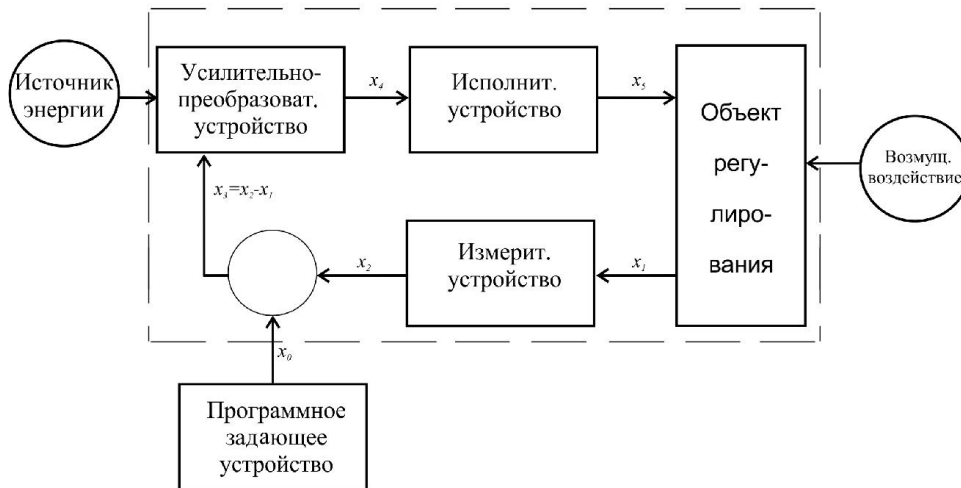


Рисунок 1- Структурная схема автоматической системы регулирования температуры печи

Возмущающими воздействиями на объект регулирования (печь) являются: задаваемая по программе величина X_0 ; изменение параметров питания усилительно-преобразовательного устройства и, самое главное, – изменение загрузки печи металлом.

Структурная схема автоматического управления системы регулирования температуры электрической и газовой печей содержат одинаковые элементы кроме исполнительных устройств: для электрической печи – электропривод, перемещающий движок реостата; для газовой печи – регулятор расхода газа, поступающего в печь.

Объект регулирования, измерительное устройство и усилительно-преобразовательное устройство являются стандартными, можно их считать безинерционными по сравнению с исполнительным устройством, поэтому для разработки в целом автоматической системы регулирования достаточно исследовать именно эти элементы системы.

Исполнительные устройства автоматической системы регулирования температуры печи

Для электрической печи исполнительное устройство представляет собой электродвигатель с редуктором, с помощью которого меняется сопротивление нагревательного элемента электрической печи, функциональная схема его показана на рис 2.

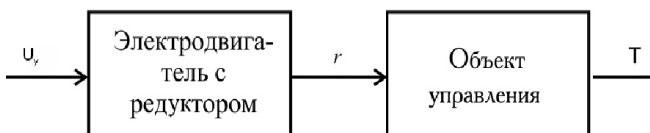


Рисунок 2 - Функциональная схема исполнительного устройства с объектом управления

Уравнение электродвигателя с регулятором, составленное на основании принципа Д' Аламбера, имеет вид:

$$K\varepsilon U_y = J_{np} d^2\varphi/dt^2 + v d\varphi/dt, \quad (1)$$

где $K\varepsilon$ – коэффициент момента электродвигателя; U_y – напряжение тока; J_{np} – приведенный момент инерции вращающихся частей исполнительного устройства; v – коэффициент вязкого трения; φ – угол поворота ротора двигателя.

Изменение сопротивления нагревательного элемента электрической печи определяется следующим соотношением:

$$r = R \cdot \varphi, \quad (2)$$

где r – сопротивление реостата; R – радиус реостата.

Ток в нагревательном элементе определяется на основании закона Ома:

$$I = U / (r + R_0), \quad (3)$$

где U – стабилизированное напряжение, подводимое к электрической печи; R_0 – постоянное сопротивление нагревательного элемента.

Из формулы (3) видно, что для уменьшения температуры в электрической печи необходимо уменьшить значение регулируемого сопротивления реостата r , а при возрастании ее в печи r надо увеличить, поскольку температура в печи описывается уравнением $T_{печи} = K_n \cdot I^2$, где K_n – коэффициент пропорциональности.

Для надежной работы автоматической системы регулирования температуры электрической печи необходимо высокое быстродействие исполнительного устройства, регулирующего сопротивления реостата r .

Для оценки значения длительности переходного процесса исполнительного устройства, схема которого представлена на рис 3, необходимо решить дифференциальное уравнение (1). В начале уравнение (1) преобразуем в уравнение (4), принятое в теории автоматического управления.

$$J_{np}/v \cdot d^2\varphi/dt^2 + d\varphi/dt = K\varepsilon U_y / v \quad (4)$$

Введем обозначение: $T_m = J_{np}/v$; $Ku = K\varepsilon/v$.

Уравнение примет вид:

$$T_m \cdot d^2\varphi/dt^2 + d\varphi/dt = KuU \quad (5)$$

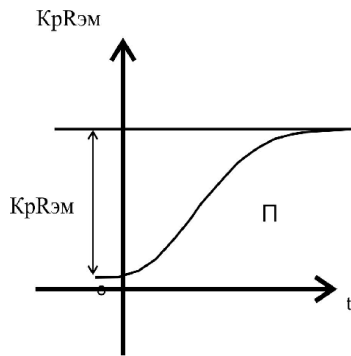


Рисунок 3- Переходной процесс исполнительного устройства

Уравнение (5) преобразуем, имея в виду, что угловая скорость поворота механизма регулирования $\omega = d\varphi/dt$, тогда имеем следующее дифференциальное уравнение:

$$T_m d\omega/dt + \omega = KuU_y \quad (6)$$

Его решение при нулевых начальных условиях $t=0; \omega=0$ имеет вид:

$$\omega = KuU_y (1 - e^{-t/T_m}), \quad (7)$$

где T_m – постоянная времени исполнительного устройства, характеризующая время его срабатывания, с; $\omega_0 = KuU_y$ – установившееся значение угловой скорости поворота исполнительного устройства.

Длительность переходного процесса равна:

$$t_n \approx 3T_m. \quad (8)$$

Поскольку в значение постоянной времени входят массо-геометрические параметры и коэффициент вязкого трения, можно путем подбора произвести расчет необходимого значения быстродействия автоматической системы.

Исполнительное устройство газовой печи

Температура в газовой печи зависит от расхода газа, чем больше объем газа в единицу времени, тем выше ее значение.

В качестве исполнительного устройства автоматической системы применен регулятор расхода, схема которого представлена на рис 4.

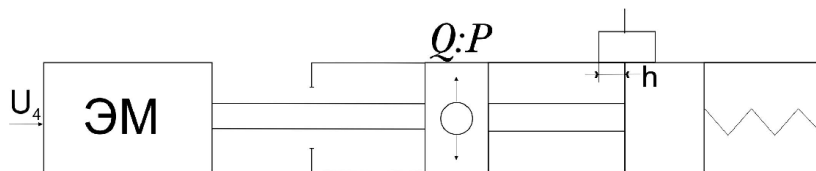


Рисунок 4 - Принципиальная схема регулятора расхода газа

Расход газа, поступающего в газовую печь, определяется следующей формулой:

$$Q = \mu \lambda d \sqrt{2g(P_m - P)} \cdot h, \quad (9)$$

где μ – коэффициент расхода регулятора, $\mu=0,65$; d – диаметр золотника; g – ускорение свободного падения; γ – удельный вес газа; P_m – давление газа в магистрали; P – давление газа, поступающего в печь; h – величина открытия проходной щели регулятора.

В принципе все параметры регулятора, входящие в формулу, можно считать постоянными, перепад давления на регулятора $P_m - P = const$, если к нему параллельно подключить стандартный редукционный клапан, тогда расход поступающего газа можно регулировать, изменяя значение h – величину открытия рабочей щели.

Сигнал в виде напряжения U_y поступает в электромагнит и сила его, преодолевая усилие пружины, меняет значение h , т.е.:

$$h = R_{эм}/c, \quad (10)$$

где $R_{эм}$ – сила электромагнита, зависящая от силы тока; c – коэффициент жесткости пружины.

Для определения времени сопротивления регулятора расхода составление равновесие сил, действующих на золотник на основании принципа Д'Аламбера:

$$m d^2 h/dt^2 + v dh/dt + ch = R_{эм}, \quad (11)$$

где m – масса золотника регулятора; v – коэффициент вязкого трения.

Преобразуем уравнение (11), введя следующие обозначения:

$$T_k = \sqrt{m/c} \quad (с); \quad T_g = v/c \quad (с); \quad K_p = 1/v;$$

Уравнение (11) примет вид:

$$T_k^2 d^2 h/dt^2 + T_g dh/dt + h = K_p R_{эм}, \quad (12)$$

где T_k – постоянная времени, способствующая раскочки системы в динамике; T_g – постоянная времени, способствующая демпфированию возникающих колебаний в переходном процессе; K_p – коэффициент усиления регулятора.

Более предпочтительно спроектировать исполнительное устройство для автоматической системы регулирования температурой газовой печи, работающее в переходном режиме как апериодическое звено второго порядка.

Следует также отметить, что исполнительные устройства, разработанные для автоматического регулирования в электрической и газовой печах, работают устойчиво в широком диапазоне изменения режимов регулирования температуры, это видно по следующим критериям: все коэффициенты при переменных в левой части дифференциальных уравнений имеют положительный знак, а корни характеристических уравнений – действительные и отрицательные.

ВЫВОДЫ:

1. Разработанные автоматической системы регулирования температуры в электрической и газовой печах для нагрева изделий при термообработке имеют в основном одинаковую структуру (рис 1) за исключением исполнительных устройств;

2. Разработана принципиальная схема исполнительных устройств для электрических и газовой печей и составленные их математические модели позволяют произвести расчет массо-геометрические и режимные параметры, необходимые для их проектирования и изготовления.

3. Длительность переходных процессов для электрической печи составила -0,15 с, газовой печи - 0,08 с, а статическая ошибка – 3 и 2 %, что выше вполне приемлемо разработанных схем автоматического регулирования температуры печей.

Список литературы:

1. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М., и др. Материаловедение технология металлов. М.: Высшая школа, 2001. 638 с.
2. Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами, - М.: Наука, 1985. 568 с.
3. Бутковский А.Г., Малый С.А., Андреев Ю.Н. Управление нагревом металла, -М.: Металлургия, 1981, 272 с.
4. Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Кенис М.С. Повышение стойкости быстрорежущей стали P18 [Текст] // Наука и новые технологии. Научно-технический журнал. № 6. – Бишкек, 2010. - С.37-40.
4. Жолдошов Б.М., Муратов В.С., Кенис М.С. Отработка энергоэкономного отжига поковок из быстрорежущих сталей после различных схем ковки [Текст] // Наука и новые технологии. Научно-технический журнал. №6. – Бишкек, 2010. - С.40-44.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Сатыбаев А.С.