

NGHIÊN CỨU BỘ QUAN SÁT NHIỆT ĐỘ TRONG PHÔI TẤM BẰNG MÔ HÌNH HÀM TRUYỀN RESEARCH ON THE THERMAL OBSERVATOR IN PLATE SLAB WITH THE MODEL OF TRANSFER FUNCTION

Nguyễn Hữu Công, Ngô Minh Đức, Chu Minh Hà
Trường Đại học KTCN - Đại học Thái Nguyên

Đinh Việt Cường
Trường trung cấp nghề Tuyên Quang

TÓM TẮT

Trong công nghiệp hiện nay, ta thường giải quyết bài toán điều khiển nhiệt độ trong các lò nung theo một chỉ tiêu nào đó. Tuy nhiên chất lượng của các sản phẩm trong quá trình gia công nhiệt lại phụ thuộc vào trường nhiệt độ trong phôi. Muốn điều khiển được nhiệt độ trong phôi, ta phải đưa ra phương pháp tính toán trường nhiệt độ của nó khi biết nhiệt độ lò. Hiện nay đã có một số phương pháp tính toán, nhưng các phương pháp này đều không thuận tiện cho việc thiết kế bộ điều khiển.

Bài báo giới thiệu một phương pháp mới trong việc thiết kế bộ quan sát nhiệt độ trong phôi tấm bằng mô hình hàm truyền đối với một hệ đo nhiệt. Nghiên cứu đã đưa ra kết quả là: mỗi lớp trong phôi được thể hiện bằng một đối tượng động học tuyến tính. Như vậy ngoài việc quan sát nhiệt độ, ta có thể thiết kế bộ điều khiển trường nhiệt độ trong phôi một cách dễ dàng. Các kết quả nghiên cứu đã được kiểm chứng bằng mô phỏng và mở ra khả năng ứng dụng vào thực tế.

ABSTRACT

At present, in industry, the temperature control problems in furnace have been solved by some particular goals. However, the quality of products in a thermal treatment depends on the temperature field of a slab. In order to control the slab temperature, operation method may be presented to calculate temperature of slab when we are informed the temperature inside furnace. Recently, there have been some calculation methods, however, they are not quite useful for designing controller.

This article introduces a new method in designing the thermal observator in plate slab with the model of transfer function towards to short-term thermal system. This result shows that: Each plate slab is illustrated by a lineal kinetic object. Therefore, we can not only observe the temperature but also easily design a thermal controller for plate slab. All the results are proved by modeling and enable to apply to practical concept.

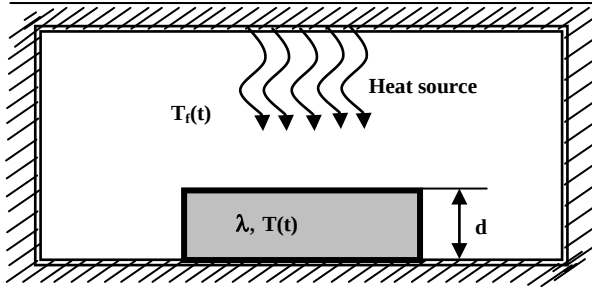
I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong công nghiệp hiện nay, ta thường giải quyết bài toán điều khiển nhiệt độ trong các lò nung theo một chỉ tiêu nào đó [1]. Tuy nhiên chất lượng của các sản phẩm trong quá trình gia công nhiệt lại phụ thuộc vào trường nhiệt độ trong phôi. Như vậy đặt ra vấn đề phải điều khiển được nhiệt độ trong phôi nung theo chỉ tiêu chất lượng đặt ra, tức là điều khiển một thông số mà không thể dùng sensor đo được. Muốn điều khiển được nhiệt độ trong phôi, ta phải đưa ra phương pháp tính toán trường nhiệt độ của nó khi biết nhiệt độ lò. Việc tính toán này có thể thực hiện bằng phương pháp phân ly biến số [2]; phương pháp mô hình [1]; phương pháp phần tử hữu hạn [3]. Tuy nhiên các phương pháp thiết kế bộ điều khiển hiện nay, ta

thường căn cứ vào hàm truyền của đối tượng để tính ra bộ điều khiển. Như vậy đặt ra vấn đề là hãy thiết kế bộ quan sát nhiệt độ trong phôi bằng mô hình hàm truyền hoặc mô hình không gian trạng thái. Sau khi đã có bộ quan sát, ta có thể thiết kế bộ điều khiển nhiệt độ trong phôi một cách dễ dàng.

II. THIẾT KẾ BỘ QUAN SÁT NHIỆT ĐỘ CHO PHÔI TẤM

Xét một lò gia nhiệt đốt một phía như Hình 1. Giả thiết thể tích buồng lò nhỏ, coi nhiệt độ trong lò là như nhau. Nếu bỏ qua sự truyền nhiệt qua đầu và cạnh của tấm kim loại phẳng, rộng đủ lớn. Nhiệt độ đo được trong lò coi như nhiệt độ trên bề mặt của lớp 1; hệ dẫn nhiệt là đoản nhiệt, tức là không có nhiệt độ chảy ra khỏi tấm.



Hình 1. Mô hình phôi tấm

Với các thông số của tấm như sau:

- Hệ số dẫn nhiệt của tấm λ : $W/m.K$
- Hệ số truyền nhiệt của tấm α : W/m^2
- Chiều dài a (mét)
- Chiều rộng b (mét)
- Chiều dày d (mét)
- Khối lượng riêng ρ : Kg/m^3
- Nhiệt dung riêng c : $J/kg.K$
- Diện tích bề mặt tiếp xúc $A=a*b$ (m^2)

Ta coi phôi là một đối tượng động học và được chia thành n lớp. Đối tượng động học này có lượng vào là nhiệt độ trong không gian lò T_f ; lượng ra là nhiệt độ của lớp dưới cùng T_n . Việc chọn n bằng bao nhiêu tùy thuộc độ “Dày” của tấm và độ chính xác yêu cầu.

2.1 Xây dựng mô hình hàm truyền đối với vật mỏng

Vật mỏng là vật có hệ số $BIO < 0,25$; [4], trong trường hợp này ta coi phôi tấm như có 1 lớp ($n=1$). Mô hình đối tượng được xây dựng như sau:

Dòng nhiệt chảy vào là :

$$Q = A\alpha(T_f - T) = \frac{T_f - T}{R} \quad \text{với } R = \frac{1}{A\alpha} \quad (1)$$

Do không có nhiệt chảy ra nên lượng nhiệt tích vào vật là:

$$Q = cm \frac{dT}{dt} = C \frac{dT}{dt} \quad \text{với } C = c.m \quad (2)$$

Vậy ta có phương trình cân bằng nhiệt:

$$C \frac{dT}{dt} = \frac{T_f - T}{R} \quad (3)$$

Sử dụng phép biến đổi Laplace ta có:

$$CRT(s).s = T_f(s) - T(s) \Rightarrow (CRs + 1)T(s) = T_f(s)$$

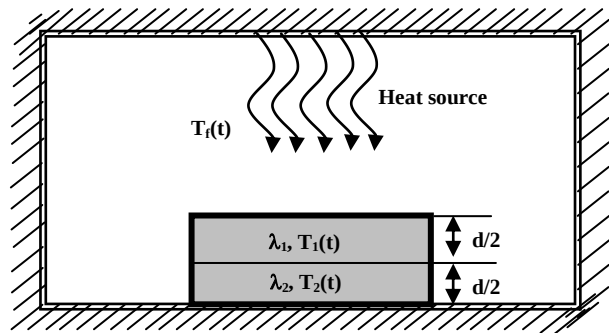
$$\text{Đặt } \tau = RC \Rightarrow T(s) = \frac{1}{\tau s + 1} T_f(s)$$

Khi đó vật mỏng sẽ được mô tả bởi hàm truyền:

$$W(s) = \frac{T(s)}{T_f(s)} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (4)$$

2.2 Xây dựng mô hình hàm truyền khi phôi được chia thành 2 lớp ($n=2$)

Dòng nhiệt chảy vào lớp 1 là:



Hình 2. Mô hình phôi 2 lớp

$$Q = A\alpha(T_f - T_1) = \frac{T_f - T_1}{R_1} \quad \text{với } R_1 = \frac{1}{A\alpha} \quad (5)$$

Dòng nhiệt chảy ra lớp 1 hay cũng là dòng nhiệt chảy vào lớp 2

$$Q = \frac{\lambda_1 A}{d/2} (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{R_2} \quad (6)$$

$$(R_2 = \frac{d/2}{\lambda_1 A})$$

Vậy phương trình cân bằng nhiệt là:

$$\begin{cases} C_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_f - T_1}{R_1} - \frac{T_1 - T_2}{R_2} & (a) \\ C_2 \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} & (b) \end{cases} \quad (7)$$

Xuất phát từ phương trình (7b) ta có:

$$C_2 R_2 T_2(s).s = T_1(s) - T_2(s)$$

$$\Rightarrow (C_2 R_2 s + 1)T_2(s) = T_1(s)$$

Suy ra hàm truyền của lớp thứ 2:

$$W_2(s) = \frac{T_2(s)}{T_1(s)} = \frac{1}{R_2 C_2 s + 1} \quad (8)$$

Xuất phát từ phương trình (7a) ta có :

$$\left(s - \frac{W_2(s)}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} \right) T_1(s) = \frac{T_f(s)}{R_1 C_1}$$

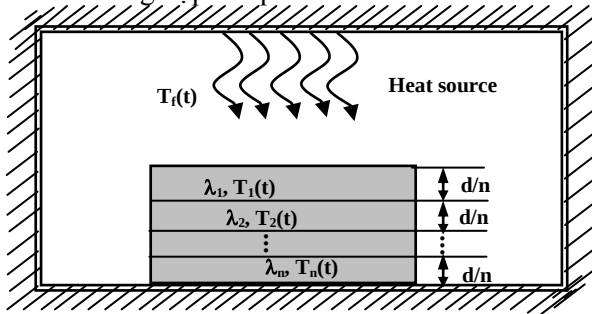
Suy ra hàm truyền lớp 1 :

$$W_1(s) = \frac{T_1(s)}{T_f(s)}$$

$$W_1(s) = \frac{1}{1 + R_1 C_1 s + \frac{R_1}{R_2} (1 - W_2(s))} \quad (9)$$

2.3 Xây dựng mô hình hàm truyền khi phôi được chia thành n lớp

Từ việc xây dựng mô hình hàm truyền cho trường hợp 1 lớp, 2 lớp; ta tổng quát hóa cho trường hợp n lớp như Hình 3



Hình 3. Mô hình phôi n lớp

Sau khi tính toán tương tự như trên, hàm truyền của phôi n lớp được xác định:

$$W_n(s) = \frac{T_n(s)}{T_{n-1}(s)} = \frac{1}{R_n C_n s + 1}$$

$$W_{n-1}(s) = \frac{1}{1 + R_{n-1} C_{n-1} s + \frac{R_{n-1}}{R_n} (1 - W_n(s))}$$

$$\vdots$$

$$W_3(s) = \frac{1}{1 + R_3 C_3 s + \frac{R_3}{R_4} (1 - W_4(s))}$$

$$W_2(s) = \frac{1}{1 + R_2 C_2 s + \frac{R_2}{R_3} (1 - W_3(s))}$$

$$W_1(s) = \frac{1}{1 + R_1 C_1 s + \frac{R_1}{R_2} (1 - W_2(s))}$$

III. MÔ PHỎNG

Để kiểm tra thuật toán, ta tiến hành mô phỏng cho ví dụ tính toán hàm truyền từng lớp khi chia phôi thành 1 lớp, 2 lớp và 3 lớp. Vật liệu được chọn là thép tấm với các thông số như sau:

Hệ số dẫn nhiệt của tấm $\lambda = 55.8 \text{ w/m.K}$; Khối lượng riêng: $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$; Nhiệt dung riêng $c = 460 \text{ J/kg.K}$; Hệ số truyền nhiệt $\alpha = 335 \text{ w/m}^2$; Chiều dài tấm $a = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$; Chiều rộng tấm $b = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$; Chiều dày tấm $d = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$; Diện tích bề mặt tấm: $A = a \cdot b = 0.4 \cdot 0.25 = 0.1 \text{ m}^2$

3.1 Coi tấm thép là 1 lớp

Khi đó sự truyền nhiệt qua tấm là truyền nhiệt đối lưu: $V = 0.4 \cdot 0.25 \cdot 0.05 = 0.005 \text{ m}^3$; $m = V \cdot \rho = 39 \text{ kg}$; $C = m \cdot c = 17940$; $R = 0.0299$

Hàm truyền đối tượng là:

$$W(s) = \frac{1}{RCs + 1} = \frac{1}{536.406s + 1}$$

3.2 Coi tấm thép là 2 lớp

Khi đó chiều dày mỗi lớp là $d/2 = 0.05/2 \text{ m}$

$$V_1 = V_2 = 0.4 \cdot 0.25 \cdot 0.025 = 0.0025 \text{ m}^3$$

$$m_1 = m_2 = V_1 \cdot \rho = 0.0025 \cdot 7800 = 19.5 \text{ kg}$$

$$C_1 = C_2 = m_1 \cdot c = 19.5 \cdot 460 = 8970$$

$$R_1 = \frac{1}{A\alpha} = \frac{1}{0.1 \cdot 335} = 0.0299$$

$$R_2 = \frac{d/2}{\lambda A} = \frac{0.025}{55.8 \cdot 0.1} = 0.00448$$

Hàm truyền từng lớp của đối tượng là:

$$W_2(s) = \frac{T_2(s)}{T_1(s)} = \frac{1}{R_2 C_2 s + 1} = \frac{1}{40.1856s + 1}$$

$$W_1(s) = \frac{1}{1 + R_1 C_1 s + \frac{R_1}{R_2} (1 - W_2(s))} = \frac{40.1856s + 1}{10762s^2 + 575.7127s + 1}$$

3.3 Coi tấm thép là 3 lớp

Khi đó chiều dày mỗi lớp là $d/3 = 0.05/3 \text{ m}$

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0.4 \cdot 0.25 \cdot (0.05/3) = 0.0083 \text{ m}^3$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = V_1 \cdot \rho = 13 \text{ kg}$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = m_1 \cdot c = 13 \cdot 460 = 5980$$

$$R_1 = \frac{1}{A\alpha} = \frac{1}{0.1 \cdot 335} = 0.0299$$

$$R_2 = R_3 = \frac{l}{\lambda A} = \frac{d/3}{\lambda A} = \frac{0.05/3}{55.8 \cdot 0.1} = 0.00299$$

Hàm truyền từng lớp của đối tượng là :

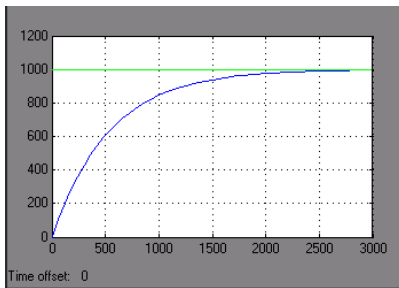
$$W_3(s) = \frac{T_3(s)}{T_2(s)} = \frac{1}{R_3 C_3 s + 1} = \frac{1}{17.88s + 1}$$

$$W_2(s) = \frac{1}{1 + R_2 C_2 s + \frac{R_2}{R_3} (1 - W_3(s))}$$

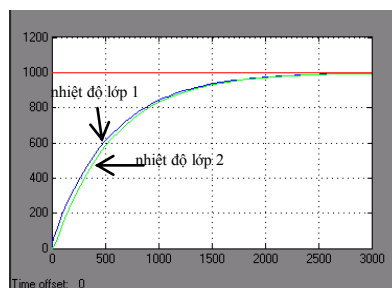
$$= \frac{17.88s + 1}{318.85s^2 + 53.55s + 1}$$

$$W_1(s) = \frac{1}{1 + R_1 C_1 s + \frac{R_1}{R_2} (1 - W_2(s))}$$

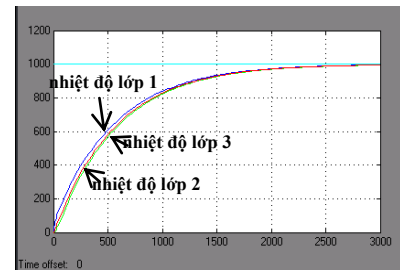
$$W_1(s) = \frac{318.85s^2 + 53.55s + 1}{57449s^3 + 13127s^2 + 589.05s + 1}$$



Hình 4. Kết quả mô phỏng nhiệt độ trong phôi 1 lớp



Hình 5. Kết quả mô phỏng nhiệt độ trong phôi 2 lớp



Hình 6. Kết quả mô phỏng nhiệt độ trong phôi 3 lớp

3.4 Kết quả mô phỏng cho bộ quan sát nhiệt độ

Tiến hành mô phỏng trên MATLAB SIMULINK với giả thiết nhiệt độ lò được giữ không đổi: $T_f = 1000^\circ\text{C}$; ta được kết quả như Hình 4, 5, 6.

IV. KẾT LUẬN

Dựa trên các định luật về truyền nhiệt, các phương trình cân bằng nhiệt, bài báo đã giới thiệu một phương pháp xây dựng mô hình hàm truyền của phôi tấm khi được chia thành n lớp cho một hệ đo nhiệt. Từ kết quả này, ta hoàn toàn có thể thiết kế bộ điều khiển nhiệt độ trong phôi theo một chỉ tiêu chất lượng nào đó.

Việc nghiên cứu tiếp theo là sẽ tiến hành thí nghiệm trên mô hình thực. Nếu kết quả được kiểm nghiệm đúng đắn thì sẽ mở ra khả năng áp dụng trong nhiều lĩnh vực công nghệ khác nhau như: tôi, ram, nhiệt luyện, ủ vật liệu từ, ủ thủy tinh quang học,... có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Hữu Công; Điều khiển tối ưu đối tượng có tham số phân bố, biến đổi chậm; Luận án tiến sĩ kỹ thuật 2003.
2. Nguyễn Hữu Công, Nguyễn Mạnh Tường; Một nghiên cứu về điều khiển tối ưu hệ thống có tham số biến đổi chậm; VICA4 - 2000.
3. Liansheng Wang, Pheng Ann Heng, Wong Tien Tsin; Estimation of the Current Density in a Dynamic Heart Model and Visualization of Its Propagation; Proceedings of the 4th international workshop on Medical Imaging and Augmented Reality 2008.
4. Cong N Huu, Nam N Hoai; Optimal control for a distributed parameter and delayed – time system based on the numerical method; Teth international conference on Control, Automotion, Robotics and vision(ICARCV'2008).

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Hữu Công - Tel: 0913.589.758; email: huucong@tnut.edu.vn
Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên