

PHẦN 2

TRUYỀN NHIỆT

CHƯƠNG 1

DẪN NHIỆT

Định luật Fourier dòng nhiệt

$$q = -\lambda \cdot \text{grad} t \quad \text{W/m}^2$$
$$Q = q \cdot F \quad \text{W}$$

dòng nhiệt trong một thời gian τ (s) $Q_0 = Q \cdot \tau$ J

1.1. Phương trình vi phân dẫn nhiệt

1.2. Phương trình tổng quát và các trường hợp riêng

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{C\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{C\rho}$$

1.3. Dẫn nhiệt ổn định khi không có nguồn bên trong

1.3.1. Dẫn nhiệt qua vách phẳng

vách 1 lớp $q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}), \text{W/m}^2$

nhiều lớp $q = \frac{t_{w1} - t_{w(n+1)}}{\sum R_i}, \text{W/m}^2$

1.3.2. Dẫn nhiệt qua vách trụ

$$q_i = \frac{t_{w1} - t_{w(n+1)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} = \frac{t_{w1} - t_{w(n+1)}}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

9.1. Dẫn nhiệt ổn định qua vách phẳng 2 lớp có chiều dày tương ứng là 100 mm và 200 mm. Biết nhiệt độ bề mặt $t_1 = 150^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$, hệ số dẫn nhiệt của lớp thứ nhất bằng $0,4 \text{ W/mK}$ và nhiệt trở của lớp thứ 2 bằng $0,4 \text{ mK/W}$. Xác định nhiệt độ mặt ngoài t_3 :

- a) $99,92^\circ\text{C}$ b) 20°C c) $39,3^\circ\text{C}$

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách phẳng vách phẳng 2 lớp $t_1 = 150^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$, $\delta_1 = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$, $\delta_2 = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$, $\lambda_1 = 0,4 \text{ W/mK}$, $R_2 = 0,4 \text{ mK/W}$. Hãy xác định nhiệt độ mặt ngoài t_3 .

Bài giải:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{150 - 100}{\frac{0,1}{0,4}} = 200 \text{ W/m}^2$$

$$q = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{t_2 - t_3}{R_2} = 200 \gg t_3 = t_2 - q \cdot R_2$$

$$t_3 = 100 - 200 \cdot 0,4 = 20^\circ\text{C}$$

9.2. Dẫn nhiệt ổn định qua vách trụ 2 lớp có đường kính tương ứng $d_1 = 100 \text{ mm}$, $d_2 = 200 \text{ mm}$ và $d_3 = 300 \text{ mm}$. Biết nhiệt độ bề mặt $t_1 = 150^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$, hệ số dẫn nhiệt của lớp thứ nhất bằng $0,4 \text{ W/mK}$ và nhiệt trở của lớp thứ 2 bằng $0,4 \text{ mK/W}$. Xác định nhiệt độ mặt ngoài t_3 :

- a) $63,74^\circ\text{C}$ b) $54,38^\circ\text{C}$ c) $27,52^\circ\text{C}$

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách trụ 2 lớp : $t_1 = 150^\circ\text{C}$, $t_2 = 100^\circ\text{C}$, $d_1 = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$, $d_2 = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$, $d_3 = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$; $\lambda_1 = 0,4 \text{ W/mK}$, $R_2 = 0,4 \text{ mK/W}$. Hãy xác định nhiệt độ mặt ngoài t_3 .

Bài giải:

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{150 - 100}{\frac{1}{2\pi \cdot 0,4} \ln \frac{0,2}{0,1}} = 181,2 \text{ W/m}$$

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} = 181,2 \gg t_3 = t_2 - q_l \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

$$t_3 = 100 - 181,2 \frac{1}{2\pi * 0,4} \ln \frac{0,3}{0,2} = 27,52^\circ C$$

9.3. Vách trụ hai lớp có đường kính $d_1 = 100$ mm, $d_2 = 200$ mm và $d_3 = 300$ mm. Hệ số dẫn nhiệt tương ứng là $0,3$ W/mK, và $0,7$ W/mK. Biết nhiệt độ tiếp xúc giữa lớp 1 và 2 là $t_2 = 350^\circ C$, nhiệt độ bề mặt lớp ngoài cùng là $t_3 = 180^\circ C$. Xác định nhiệt độ mặt trong cùng t_1 :

- a) $1028,11^\circ C$ b) $1942,82^\circ C$ c) $2453,46^\circ C$

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách trụ 2 lớp $t_3 = 180^\circ C$, $t_2 = 350^\circ C$, $d_1 = 100$ mm = $0,1$ m, $d_2 = 200$ mm = $0,2$ m, $d_3 = 300$ mm = $0,3$ m; $\lambda_1 = 0,3$ W/mK, $\lambda_2 = 0,7$ W/mK. Hãy xác định nhiệt độ mặt trong cùng t_1 .

Bài giải:

$$q_l = \frac{t_2 - t_3}{\frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} = \frac{350 - 180}{\frac{1}{2\pi * 0,7} \ln \frac{0,3}{0,2}} = 1843,12 \text{ W/m}$$

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{t_1 - 350}{\frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}} = 1843,12 \gg t_1 = t_2 + q_l \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

$$t_3 = 350 + 1843,12 \frac{1}{2\pi * 0,3} \ln \frac{0,2}{0,1} = 1028,11^\circ C$$

9.4. Một ống có đường kính ngoài 400 mm, hệ số dẫn nhiệt 25 W/m.K, nhiệt trở ứng với 1 m chiều dài ống $R_1 = 0,00441$ mK/W. Trong trường hợp này đường kính trong của ống sẽ là bao nhiêu?

- a) $199,4$ mm b) $100,3$ mm c) $351,77$ mm

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách trụ 1 lớp, $d_2 = 400$ mm = $0,2$ m; $\lambda_1 = 25$ W/mK.

Hãy xác định d_1 mặt trong cùng, nhiệt trở ống $0,00441$ mK/W.

Bài giải:

Nhiệt trở của vách trụ được tính như sau:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} = 0,00441 \text{ mK/W}$$

$$\ln \frac{d_2}{d_1} = 0,00441 * 2 * 3,14 * 25 = 0,69$$

$$d_2 = d_1 e^{0,69} \gg d_1 = \frac{d_2}{e^{0,69}} = \frac{400}{e^{0,69}} = 199,4 \text{ mm}$$

9.5. Vách phẳng có chiều dày 220 mm, hệ số dẫn nhiệt 0,7 W/mK. Lượng nhiệt truyền qua 20 m² vách phẳng trong 1 phút là 8,4 kJ. Tính giá trị tuyệt đối của gradien nhiệt độ trong vách.

- a) 12 K/m b) 10 K/m c) 20,05 K/m

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách phẳng 1 lớp, $\delta_1 = 220 \text{ mm} = 0,22 \text{ m}$; $\lambda_1 = 0,7 \text{ W/mK}$. Hãy xác định giá trị tuyệt đối của gradien nhiệt độ trong vách, $\tau = 1 \text{ phút} = 60 \text{ s}$.

Bài giải:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{Q_r}{F\tau} = \frac{8,4}{20 * 60} = 7 \text{ W/m}^2$$

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$$

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \left| -\frac{q}{\lambda} \right| = \frac{7}{0,7} = 10 \text{ K/m}$$

9.6. Vách phẳng 1 lớp, độ chênh nhiệt độ giữa hai bề mặt là 50°C. Chiều dày của vách bằng 65 mm. Để tổn thất nhiệt qua 1 m² vách trong 3 giờ không lớn hơn 2052 kJ cần chọn vật liệu làm vách có hệ số dẫn nhiệt như thế nào:

- a) 247 W/mK b) 0,488 W/mK c) 0,247 W/mK

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách phẳng 1 lớp, $\delta_1 = 65 \text{ mm} = 0,065 \text{ m}$; $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, $Q < 2052 \text{ kJ}$ trong 3 h trên 1 m². Hãy chọn λ .

Bài giải: Xuất phát từ định luật Fourier ta được:

$$q = \frac{Q_r}{F} = \frac{Q_r}{F\tau} \leq \frac{2052 * 1000}{1 * 3 * 3600} = 190 \text{ W/m}^2$$

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{\Delta t}{\lambda_1} = 190 \text{ W/m}^2$$

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{\Delta t}{190} = \frac{50}{190} = 0,263 \gg t_3 = t_2 - q * R_2$$

$$\lambda_1 = \frac{\delta_1}{0,263} = \frac{0,065}{0,263} = 0,247 \text{ W/mK}$$

Do dòng nhiệt nhỏ hơn 190 W/m^2 nên ta phải chọn chất có hệ số dẫn nhiệt λ nhỏ hơn $0,247 \text{ W/mK}$.

9.7. Vách trụ có đường kính trong $d_1 = 40 \text{ mm}$, chiều dày bằng 15 mm , hệ số dẫn nhiệt bằng $0,4 \text{ W/mK}$. Nhiệt độ bề mặt vách trong $t_1 = 250^\circ\text{C}$, nhiệt độ bề mặt vách ngoài $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Tính mật độ dòng nhiệt trên 1 m^2 ứng với bề mặt phía ngoài:

- a) $4697,1 \text{ W/m}^2$ b) $7652,67 \text{ W/m}^2$ c) $9457,14 \text{ W/m}^2$

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách trụ 1 lớp, $d_2 = 40\text{mm} + 2 \cdot 15\text{mm} = 70\text{mm} = 0,07 \text{ m}$; $\lambda_1 = 0,4 \text{ W/mK}$, $t_1 = 250^\circ\text{C}$, $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Hãy xác định mật độ dòng nhiệt q_2 trên 1 m^2 ứng với bề mặt phía ngoài.

$$d_2 = d_1 + 2\delta = 40 + 2 \cdot 15 = 70 \text{ mm} = 0,07 \text{ m}$$

Bài giải:

Mật độ dòng nhiệt trên 1 đơn vị chiều dài được tính như sau:

$$q_1 = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{250 - 20}{\frac{1}{2\pi * 0,4} \ln \frac{0,07}{0,04}} = 132,42 \text{ W/m}$$

$$Q = q_1 l = q_2 F_2 = q_2 \Pi d_2 l$$

$$q_2 = \frac{q_1}{\Pi d_2} = \frac{132,42}{3,14 \cdot 0,07} = 4697,1 \text{ W/m}^2$$

9.8. Tường xây bằng gạch đỏ dày 30 cm , hệ số dẫn nhiệt bằng $0,8 \text{ W/mK}$, nhiệt độ bề mặt ngoài là 18°C , bề mặt trong là 28°C . Coi nhiệt độ mặt ngoài và hệ số dẫn nhiệt không đổi. Nếu chiều dày tường chỉ là 20 cm còn tổn thất nhiệt qua tường vẫn như cũ thì nhiệt độ bề mặt trong là:

- a) 33°C b) $48,171^\circ\text{C}$ c) $24,667^\circ\text{C}$

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách phẳng 1 lớp, $\delta_1 = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$; $\lambda_1 = 0,8 \text{ W/mk}$, $t_1 = 18^\circ\text{C}$, $t_2 = 28^\circ\text{C}$. Nếu $\delta_1 = 20 \text{ cm}$ thì $t_2 =$ bao nhiêu coi tổn thất nhiệt không đổi $q = \text{const}$.

Bài giải:

Mật độ dòng nhiệt qua 2 trường hợp là như nhau:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta_1} = \frac{28 - 18}{0,3} = 26,67 \text{ W/m}^2$$

$$q = \frac{t_1 - t'_2}{\delta_1} = \frac{t_1 - t_2}{\lambda_1} \text{ hay } \frac{t_1 - t'_2}{\delta_1} = \frac{t_1 - t_2}{\lambda_1}$$

$$\frac{18 - t'_2}{20} = \frac{18 - 28}{30} \gg t'_2 = 18 + 20 \frac{28 - 18}{30} = 24,667^\circ\text{C}$$

Như vậy nhiệt độ mặt trong là $24,667^\circ\text{C}$.

9.9. (MS: 141901).

Có một ống dẫn hơi đường kính ngoài 45 mm được bọc cách nhiệt. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa mặt ngoài của lớp cách nhiệt với không khí bằng $8 \text{ W/m}^2\text{K}$, hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cách nhiệt bằng $0,3 \text{ W/mK}$. Chiều dày cách nhiệt tối hạn bằng:

a) 15 mm

b) 38,338 mm

c) 26,695 mm

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách trụ 2 lớp, $d_2 = 45\text{mm} = 0,045 \text{ m}$; $\alpha_1 = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\lambda_2 = 0,3 \text{ W/mK}$. Hãy xác định chiều dày cách nhiệt tối hạn.

Bài giải:

Phần này liên quan đến đường kính cách nhiệt tối hạn, nhớ lại là đường kính cách nhiệt tối hạn ứng với nhiệt trở toàn phần nhỏ nhất; để thỏa mãn điều này ta có:

$$Bi_{th} = \frac{\alpha_2 d_{th}}{\lambda_n} = 2$$

$$d_{th} = \frac{2\lambda_n}{\alpha_2}, \text{ ta chọn } d_{cn} > d_{th}$$

$$d_{th} = \frac{2\lambda_{cn}}{\alpha_2} = \frac{2 * 0,3}{8} = 0,075 \text{ m}$$

Để việc bọc cách nhiệt dẫn đến việc giảm q_1 ta phải chọn $d_{cn} > 0,075 \text{ m}$ nghĩa là chiều dày $\delta_{cn} = (0,075 - 0,045)/2 = 0,015 \text{ m}$.

9.10. Một ống dẫn hơi có đường kính ngoài $d_2 = 100$ mm được bọc một lớp cách nhiệt có hệ số dẫn nhiệt bằng $0,04$ W/mK. Hơi nước trong ống có nhiệt độ 270°C , không khí bên ngoài có nhiệt độ 30°C . Nhiệt trở của hơi nước trong ống là $R_1 = 0,006$ mK/W, nhiệt trở của không khí bên ngoài ống $R_2 = 0,25$ mK/W, nhiệt trở của vách kim loại không đáng kể. Xác định chiều dày lớp cách nhiệt nếu tổn thất trên trên 1m ống là $q = 150$ W/m.

a) 20,08 mm

b) 49,26 mm

c) 45,63 mm

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt qua vách trụ 2 lớp, $d_2 = 100$ mm = 0,1 m; $\alpha_1 = 8$ W/m²K, $\lambda_2 = 0,3$ W/mK, $t_{\text{hơi}} = 270^\circ\text{C}$, $t_{\text{không khí}} = 30^\circ\text{C}$, $R_1 = 0,006$ mK/W, $R_2 = 0,25$ mK/W, $q_1 = 150$ W/m. Hãy xác định chiều dày cách nhiệt tới hạn.

Bài giải:

Ta viết lại biểu thức nhiệt trở toàn phần cho vách trụ 2 lớp, một lớp trong đó là cách nhiệt, đối với vách phẳng khi tăng chiều dày cách nhiệt δ thì tổn thất nhiệt giảm, nhưng đối với vách trụ, khi tăng chiều dày của vách nhiều khi lại làm tăng tổn thất nhiệt, nghĩa là tăng q_1 . Như vậy ta phải tìm chiều dày cách nhiệt tới hạn.

$$q_1 = \frac{t_{f1} - t_{f2}}{\frac{1}{\Pi\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_{cn}}{d_2} + \frac{1}{\Pi\alpha_2 d_{cn}}}$$

$$q_1 = \frac{240 - 30}{R_1 + \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_{cn}}{d_2} + R_2} = 150 \quad \text{W/m}$$

$$\text{Vì } \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \approx 0 \text{ nên}$$

$$q_1 = \frac{240 - 30}{R_1 + \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_{cn}}{d_2} + R_2} = 150 \quad \text{W/m}$$

$$\text{suy ra } \frac{1}{2\Pi\lambda_1} \ln \frac{d_{cn}}{d_2} = \frac{210}{150} - R_1 - R_2 = \frac{210}{150} - 0,006 - 0,25 = 1,144$$

$$\ln \frac{d_{cn}}{d_2} = 1,144 * 6,28 * 0,04 = 0,287$$

$$\text{suy ra } d_{cn} = d_2 e^{0,287} = 0,1e^{0,287} = 0,14 \text{ m}$$

Vậy chiều dày tương ứng của lớp cách nhiệt sẽ là:

$$\delta_{cn} = (0,14 - 0,1)/2 = 0,02 \text{ m}$$

Bài tập về nhà:

9.11. Vách phẳng 3 lớp có chiều dày các lớp tương ứng là 100 mm, 200 mm và 150 mm. Hệ số dẫn nhiệt tương ứng là 0,3 W/mK, 0,7 W/mK và 0,6 W/mK. Biết nhiệt độ tiếp xúc giữa lớp 1 và 2 là $t_{u2} = 350^\circ\text{C}$, nhiệt độ tiếp xúc giữa lớp 2 và lớp 3 là $t_{u3} = 180^\circ\text{C}$. Xác định nhiệt độ mặt ngoài cùng t_{u4} .

- a) $201,25^\circ\text{C}$ b) $72,5^\circ\text{C}$ c) $31,25^\circ\text{C}$

9.12. Dẫn nhiệt ổn định qua vách trụ 2 lớp, dài 2 m có đường kính tương ứng $d_1 = 100 \text{ mm}$, $d_2 = 200 \text{ mm}$, $d_3 = 300 \text{ mm}$. Biết mật độ dòng nhiệt truyền từ trong ra ngoài và nhiệt độ tại bề mặt ngoài cùng, ứng với đường kính d_3 bằng 150 W/m^2 và 70°C , hệ số dẫn nhiệt của lớp thứ nhất 0,4 W/mK và của lớp thứ hai bằng 0,4 W/mK. Xác định nhiệt độ bề mặt tiếp giáp giữa 2 lớp.

- a) $104,2^\circ\text{C}$ b) $92,81^\circ\text{C}$ c) $82,72^\circ\text{C}$

9.13. Dẫn nhiệt ổn định qua vách phẳng 2 lớp. Gradient nhiệt độ trong lớp thứ nhất là 10 K/m, trong lớp thứ 2 là 20 K/m. Khi hệ số dẫn nhiệt của lớp thứ nhất bằng 0,76 W/mK thì mật độ dòng nhiệt qua lớp thứ 2 là:

- a) $15,2 \text{ W/m}^2$ b) $12,259 \text{ W/m}^2$ c) $7,6 \text{ W/m}^2$

9.14. Vách phẳng gồm 2 lớp vật liệu có bề dày như nhau, hệ số dẫn nhiệt của lớp vật liệu thứ nhất bằng 1 kcal/m.h.K. Khi ổn định nhiệt, độ chênh nhiệt độ giữa hai bề mặt của lớp thứ nhất là 10°C , của lớp còn lại là 20°C . Hệ số dẫn nhiệt của lớp vật liệu thứ hai là:

- a) $2,322 \text{ W/mK}$ b) $1,19 \text{ W/mK}$ c) $0,581 \text{ W/mK}$

9.15. Dẫn nhiệt ổn định qua một ống có đường kính trong 100 mm, chiều dày 10 mm, hệ số dẫn nhiệt bằng 0,6 W/mK. Nhiệt độ vách ngoài 343 K. Biết trong 1 phút nhiệt tỏa thất qua 10 m ống là 60 kcal. Tính nhiệt độ mặt trong của ống.

- a) $363,22^\circ\text{C}$ b) $90,22^\circ\text{C}$ c) $206,81^\circ\text{C}$

9.16. Tường lò nung là vách phẳng 2 lớp có chế độ nhiệt ổn định. Lớp bên trong dày 230 mm và hệ số dẫn nhiệt bằng 0,7 W/mK, lớp bên ngoài là gạch cách nhiệt có chiều dày 115 mm, hệ số dẫn nhiệt bằng 0,1 W/mK.

Nhiệt độ mặt trong của tường lò bằng 1000°C , nhiệt độ mặt ngoài của tường lò bằng 175°C . Tính nhiệt độ tại bề mặt tiếp xúc giữa hai lớp.

- a) $816,66^{\circ}\text{C}$ b) $1211,25^{\circ}\text{C}$ c) $1760,32^{\circ}\text{C}$

9.17. Vách trụ 1 lớp. Độ chênh nhiệt độ giữa hai bề mặt là 60°C . Nhiệt trở dẫn nhiệt là $0,6 \text{ mK/W}$. Để tổn thất nhiệt giảm đi 2 lần khi độ chênh nhiệt độ giữa hai bề mặt trong và ngoài không đổi cần thêm một lớp thứ hai có nhiệt trở dẫn nhiệt bằng:

- a) $1,8 \text{ mK/W}$ b) $1,471 \text{ mK/W}$ c) $0,6 \text{ mK/W}$

9.18. Một ống xây bằng gạch đỏ có đường kính ngoài 380 mm , hệ số dẫn nhiệt của gạch bằng $0,7 \text{ W/mK}$, nếu nhiệt trở của ống bằng $0,0654 \text{ mK/W}$ thì đường kính trong của ống là:

- a) $0,28 \text{ mm}$ b) $285,05 \text{ mm}$ c) $511,73 \text{ mm}$

9.19. Nguồn nhiệt bên trong một tường gạch dày 250 mm bằng 140 W/m^3 . Nếu độ chênh nhiệt độ giữa tâm tường và bề mặt bằng 25°C thì hệ số dẫn nhiệt của tường bằng:

- a) $0,35 \text{ W/mK}$ b) $0,022 \text{ W/mK}$ c) $0,044 \text{ W/mK}$

9.20. Tường lò sấy có diện tích 12 m^2 xây bằng gạch dày 250 mm , nhiệt độ mặt trái của tường bằng 45°C . Hệ số dẫn nhiệt của gạch bằng $0,7 \text{ W/mK}$. Nhiệt dẫn truyền qua tường từ trái sang phải bằng 500 W . Nhiệt độ mặt phải của tường bằng:

- a) $30,12^{\circ}\text{C}$ b) $49,83^{\circ}\text{C}$ c) $43,63^{\circ}\text{C}$

9.21. Có một ống dẫn hơi đường kính ngoài 50 mm được bọc cách nhiệt. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa mặt ngoài của lớp cách nhiệt với không khí bằng $15 \text{ W/m}^2\text{K}$, hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cách nhiệt bằng $0,5 \text{ W/mK}$. Chiều dày cách nhiệt tối hạn bằng:

- a) $66,667 \text{ mm}$ b) $8,333 \text{ mm}$ c) $12,635 \text{ mm}$

9.22. Vách phẳng 4 lớp có chiều dày mỗi lớp như nhau và bằng 200 mm . Hệ số dẫn nhiệt tương ứng là $0,5 \text{ W/mK}$; $0,6 \text{ W/mK}$; $0,5 \text{ W/mK}$ và $0,8 \text{ W/mK}$. Nhiệt độ bề mặt tiếp xúc giữa lớp thứ 2 và lớp thứ 3 là $t_3 = 110^{\circ}\text{C}$. Nhiệt độ bề mặt ngoài của lớp thứ 4 là $t_5 = 50^{\circ}\text{C}$ (Nhiệt độ ký hiệu tương ứng với số lớp từ t_1 đến t_5). Xác định nhiệt độ tại bề mặt tiếp xúc giữa lớp 1 và lớp 2.

- a) $79,23^{\circ}\text{C}$ b) $140,76^{\circ}\text{C}$ c) $333,58^{\circ}\text{C}$

9.23. Vách phẳng 1 lớp có chiều dày bằng 500 mm. Hệ số dẫn nhiệt bằng 0,2 W/mK. Nhiệt độ tại bề mặt trong $t_1 = 300^{\circ}\text{C}$. Nhiệt độ tại bề mặt song song với bề mặt trong và cách bề mặt trong 100 mm là 250°C (theo chiều dẫn nhiệt). Xác định nhiệt độ tại bề mặt ngoài của vách.

- a) 50°C b) $129,68^{\circ}\text{C}$ c) $78,02^{\circ}\text{C}$

9.24. Vách trụ dài vô hạn có đường kính trong $d_1 = 200$ mm, hệ số trao đổi nhiệt của chất lỏng nóng bên trong là $\alpha_1 = 30$ W/m²K, chất lỏng lạnh ở bên ngoài có hệ số trao đổi nhiệt là $\alpha_2 = 12$ W/m²K. Khi truyền nhiệt ổn định nếu độ chênh nhiệt độ chất lỏng nóng và bề mặt trong là Δt_1 , giữa bề mặt ngoài với chất lỏng lạnh là Δt_2 bằng nhau thì đường kính ngoài của vách bằng:

- a) 80 mm b) 500 mm c) 843,46 mm

1.4. Dẫn nhiệt không ổn định

Dẫn nhiệt không ổn định khi đốt nóng hay làm nguội một tấm phẳng hay hình trụ.

Phương trình vi phân truyền nhiệt có dạng

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \text{ hay } \delta = t - t_f$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2}$$

Với điều kiện biên:

$$t = t_o = \text{const } \theta_o = t_o - t_f$$

điều kiện biên

$$\left(\frac{\partial \delta}{\partial x}\right)_{x=\delta} = \pm \frac{\alpha}{\lambda} \delta_u = \pm \frac{\alpha}{\lambda} (t_u - t_f)$$

$$\delta = f(\alpha, \lambda, a, \tau, x, y, z, t_o, t_f \dots)$$

Nếu đưa về dạng không thứ nguyên:

$$\theta(x) = \frac{\delta}{\delta_o} = f(Bi, Fo, \frac{x}{l})$$

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda}, Fo = \frac{a \tau}{\delta^2}, X = \frac{x}{\delta}$$

Có thể giải gần đúng bài toán dẫn nhiệt không ổn định qua đồ thị để tính nhiệt độ dư không thứ nguyên

$$\theta_{x=\delta} = f_1(Bi, Fo)$$

$$\theta_{x=0} = f_2(Bi, Fo)$$

Các biểu đồ này được lập với tấm phẳng, hình trụ và hình cầu.

Lượng nhiệt vật thải từ nhiệt độ ban đầu t_0 đến nhiệt độ môi trường xung quanh t_f sẽ là

$$Q_{0 \rightarrow x} = 2\delta f \rho C(t_0 - t_f)$$

Lượng nhiệt vật thải từ nhiệt độ ban đầu t_0 đến nhiệt độ t bất kỳ sẽ là

$$Q_{0 \rightarrow t} = 2\delta f \rho C(t_0 - t)$$

Lượng nhiệt vật thải từ nhiệt độ ban đầu τ đến nhiệt độ $\tau = x$ sẽ là

$$Q_{\tau \rightarrow x} = Q_{0 \rightarrow x} - Q_{0 \rightarrow \tau} = 2\delta f \rho C(t - t_f)$$

Suy ra

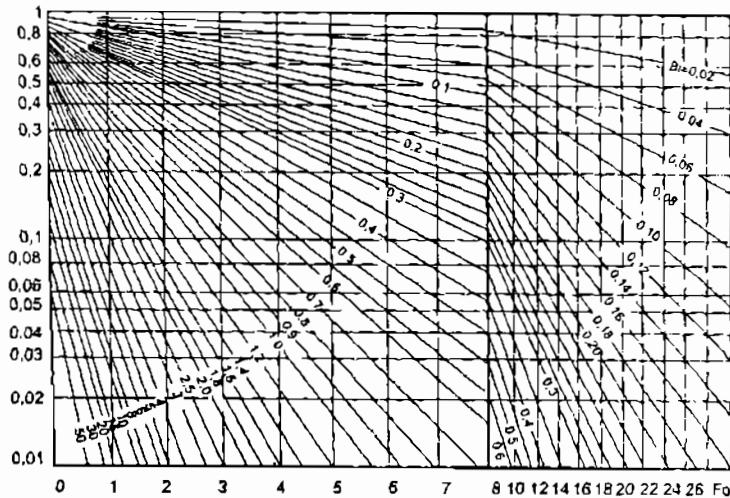
$$\frac{Q_{0 \rightarrow \tau}}{Q_{0 \rightarrow x}} = \left(1 - \frac{(t - t_f)}{(t_0 - t_f)}\right) = f_q(Bi, Fo)$$

Như vậy có thể tính được

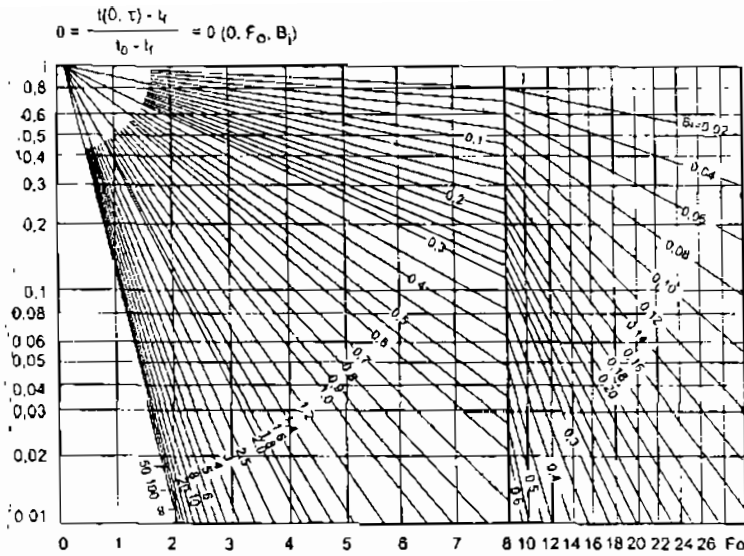
$$Q_{0 \rightarrow \tau} = f_q(Bi, Fo)Q_{0 \rightarrow x}$$

Các biểu đồ xác định trường nhiệt độ tại tấm phẳng và hình trụ

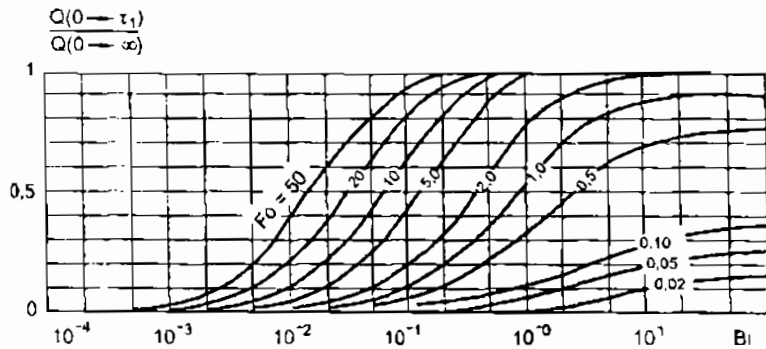
$$\theta = \frac{(t - t_f) \cdot \delta}{t_0 - t_f} = \theta(t, Fo, Bi)$$



Hình 9.1. Biểu đồ xác định trường nhiệt độ tại bề mặt tấm phẳng



Hình 9.2. Biểu đồ xác định trường nhiệt độ tại tâm tấm phẳng



Hình 9.3. Biểu đồ xác định lượng nhiệt trao đổi của tấm phẳng

Bài giải mẫu

9.25. Một tấm phẳng có kích thước 10x800x1500 mm, hệ số dẫn nhiệt bằng 0,6 W/mK, được làm nguội với điều kiện biên đối xứng trong một kênh gió hình trụ có đường kính 1 m. Không khí làm nguội thổi qua kênh có nhiệt độ 20°C, hệ số dẫn nhiệt 0,0259 W/mK. Hãy xác định hệ số toả nhiệt từ bề mặt tấm khi tiêu chuẩn Biot của quá trình làm nguội bằng 0,9.

- a) 108 W/m²K b) 187,09 W/m²K c) 170,59 W/m²K

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua vách phẳng, $2\delta = 10$ mm, $\lambda = 0,6$ W/mK, $\alpha = 8$ W/m²K.

Hãy xác định chiều dày cách nhiệt tối hạn.

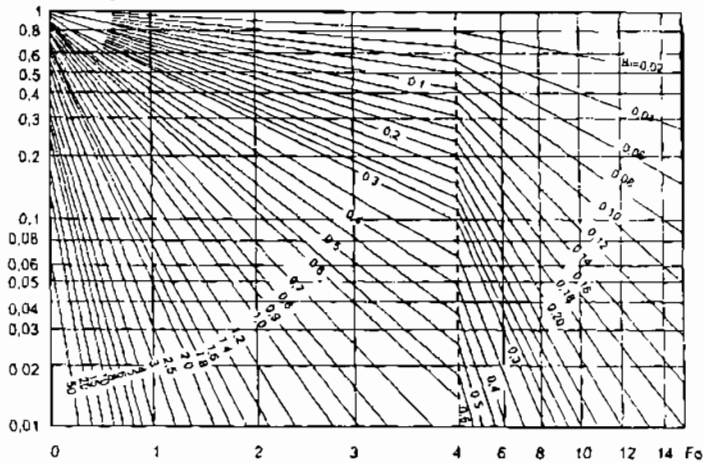
Bài giải: Biết tiêu chuẩn Bi

$$Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda} = 0,9$$

$$Bi = \frac{\alpha 0,005}{0,6} = 0,9 \text{ suy ra } \alpha = 0,9 \frac{0,6}{0,005} = 108 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

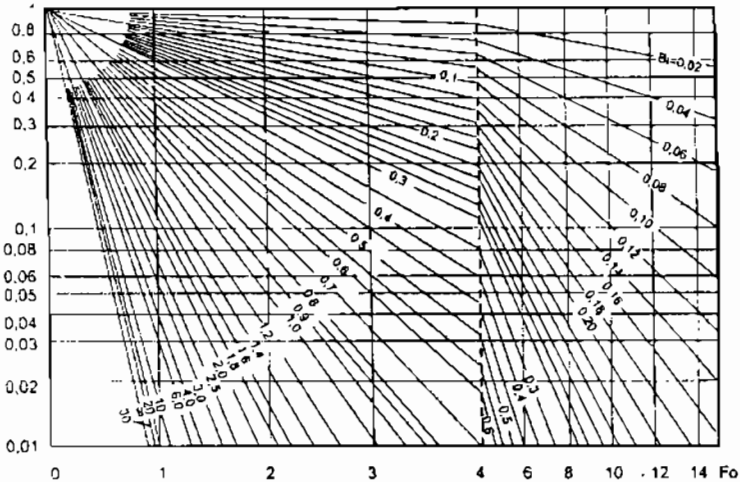
Chú ý: Cần chú ý là trong công thức tính Bi, kích thước xác định là nửa chiều dày, chứ không phải cả chiều dày. Đây là lỗi thường gặp.

$$\theta = \frac{t(r, \tau) - t_f}{t_0 - t_f} = \theta(1, F_0, Bi)$$

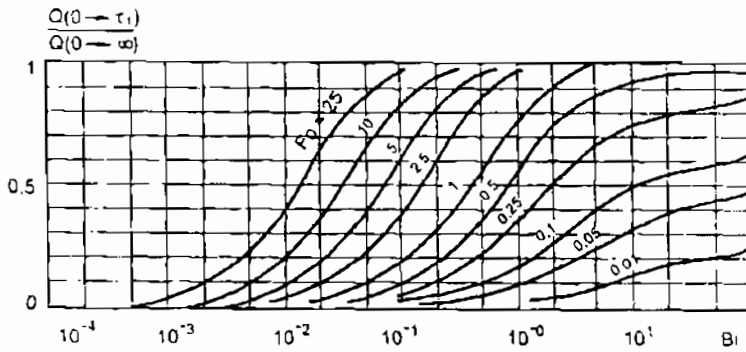


Hình 9.4. Biểu đồ xác định trường nhiệt độ tại bề mặt hình trụ

$$\theta = \frac{t(0, \tau) - t_f}{t_0 - t_f} = \theta(0, F_0, Bi)$$



Hình 9.5. Biểu đồ xác định trường nhiệt độ tại tâm hình trụ



Hình 9.6. Biểu đồ xác định lượng nhiệt trao đổi của hình trụ

9.26. Để làm nguội một tấm phẳng có bề dày 2δ từ 600°C xuống 40°C cần thời gian làm nguội bằng 3h. Thời gian làm nguội sẽ bằng bao nhiêu khi hệ số dẫn nhiệt độ tăng lên 1,2 lần còn các điều kiện khác không đổi:

- a) 2,5 h b) 5,24 h c) 3,63 h

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua vách phẳng có bề dày 2δ , từ $t_0 = 600^\circ\text{C}$, xuống $t_f = 40^\circ\text{C}$, $\tau_1 = 3\text{h}$, nếu $\alpha_2 = 1,2\alpha_1$ thì τ_2 sẽ là bao nhiêu?

Bài giải:

Các điều kiện khác không đổi nghĩa là $Fo = \text{const}$ trong cả hai trường hợp.

$$Fo_1 = Fo_2 \gg$$

$$\frac{a_1 \tau_1}{\delta^2} = \frac{a_2 \tau_2}{\delta^2} \quad \tau_2 = \tau_1 \frac{a_1}{a_2} = \tau_1 \frac{a_1}{1,2a_1} = \frac{3}{1,2} h = 2,5 h$$

9.27. Một tấm phẳng có chiều dày 100 mm, được đốt nóng 2 mặt từ nhiệt độ ban đầu 20°C đến nhiệt độ cuối bằng 400°C . Tiêu chuẩn $Fo = 6$. Vật liệu làm tấm phẳng có hệ số dẫn nhiệt bằng 25 W/mK, nhiệt dung riêng bằng 0,6 kJ/kgK và khối lượng riêng bằng 7800 kg/m³. Hỏi thời gian nung tương ứng:

- a) 2808 h b) 0,78 h c) 1,51 h

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua vách phẳng có bề dày $2\delta = 100\text{ mm}$, từ $t_0 = 20^\circ\text{C}$, lên nhiệt độ $t_f = 400^\circ\text{C}$, $\lambda = 25\text{ W/mK}$, $\rho = 7800\text{ kg/m}^3$, $C = 0,6\text{ kJ/kgK}$, Hãy tính τ .

Bài giải:

$$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2} = \frac{a\tau}{\delta^2} = 6, \quad \delta = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}, \quad a = \frac{\lambda}{\rho C} = \frac{25}{7800 * 0,6}$$

$$\tau = \frac{Fo\delta^2}{a} = \frac{6 * 0,05^2 * 7800 * 0,6}{25} = 2808 \text{ s} = 0,78 \text{ h}$$

9.28. Để làm nguội cả hai mặt một tấm phẳng có bề dày δ (có $C = 0,8 \text{ kJ/kgK}$; $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$) từ 650°C xuống 100°C cần thời gian làm nguội $\tau = 3\text{h}$. Thời gian làm nguội sẽ bằng bao nhiêu giờ nếu $C = 1,8 \text{ kJ/kgK}$; $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$ còn các điều kiện khác không đổi.

a) 1,09 h

b) 16,6 h

c) 8,25 h

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua vách phẳng có bề dày 2δ , từ $t_0 = 650^\circ\text{C}$, xuống nhiệt độ $t_f = 100^\circ\text{C}$, $C_1 = 0,8 \text{ kJ/kgK}$; $\rho_1 = 1800 \text{ kg/m}^3$, $\tau_1 = 3\text{h}$. Nếu $\rho_2 = 2200 \text{ kg/m}^3$, $C_2 = 1,8 \text{ kJ/kgK}$. Hãy tính τ_2 .

Bài giải:

Vì các điều kiện nhiệt độ như nhau nên tiêu chuẩn đồng dạng của chúng sẽ giống nhau:

$$Fo = \frac{a_1\tau_1}{\delta^2} = \frac{a_2\tau_2}{\delta^2},$$

$$\lambda, \delta = \text{const}, \quad a_1 = \frac{\lambda}{\rho_1 C_1}; \text{ suy ra } a_1\tau_1 = a_2\tau_2$$

$$\tau_2 = \frac{a_1\tau_1}{a_2} = \frac{\frac{\lambda}{\rho_1 C_1} \tau_1}{\frac{\lambda}{\rho_2 C_2}} = \frac{\rho_2 C_2}{\rho_1 C_1} \tau_1 = \frac{2200 * 1,8}{1800 * 0,8} 3 \text{ h} = 8,25 \text{ h}$$

9.29. Một bức tường gạch lớn chiều dày 15 cm có nhiệt độ đồng đều ban đầu 0°C vào lúc nửa đêm. Từ 9h sáng nhiệt độ không khí xung quanh là 15°C và giữ nguyên không đổi đến 4h chiều. Hãy tính nhiệt độ bề mặt tường vào giữa trưa. Biết hệ số tỏa nhiệt ở 2 bề mặt tường là $50 \text{ W/m}^2\text{K}$ và $\lambda = 0,72 \text{ W/mK}$, $a = 449,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

a) $13,98^\circ\text{C}$

b) $15,38^\circ\text{C}$

c) $19,38^\circ\text{C}$

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua vách phẳng có bề dày $2\delta = 15 \text{ cm}$, từ $t_0 = 0^\circ\text{C}$, lên nhiệt độ $t_f = 15^\circ\text{C}$, $\alpha = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\lambda = 0,72 \text{ W/mK}$, $a = 449,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Hãy tính $\theta_{x=\delta}$.

Bài giải:

Ta tính các tiêu chuẩn đồng dạng Bi và Fo , thời gian từ 9 h sáng đến trưa là 3 tiếng, tức là $t = 3.3600 = 10800 \text{ s}$.

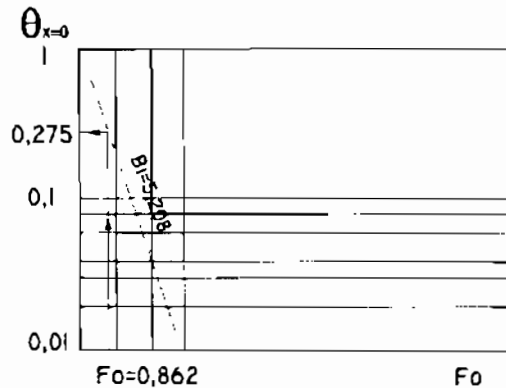
$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} = \frac{50 * 0,075}{0,72} = 5,208$$

$$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2} = \frac{449,1 * 10^{-9} * 10800}{0,075^2} = 0,862$$

Ta chọn đồ thị vách phẳng, nhiệt độ tâm tường, giao điểm của Bi và Fo cắt nhau tại giá trị (xem hình 9.7).

$$\theta_{x=0} = \frac{(t_{x=0} - t_f)}{(t_0 - t_f)} = 0,275$$

$$t_{x=0} = t_f + 0,275(t_0 - t_f) = 15 + 0,275(0 - 15) = 10,88^\circ\text{C}$$



Hình 9.7.

Ta chọn đồ thị vách phẳng, nhiệt độ bề mặt, giao điểm của Bi và Fo cắt nhau tại giá trị

$$\theta_{x=\delta} = \frac{(t_{x=\delta} - t_f)}{(t_0 - t_f)} = 0,0677$$

$$t_{x=\delta} = t_f + 0,0677(t_0 - t_f) = 15 + 0,0677(0 - 15) = 13,98^\circ\text{C}$$

9.30. Một lát bánh mỳ dày 1 cm ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$, $\rho = 280 \text{ kg/m}^3$, $C = 3600 \text{ J/kgK}$) có nhiệt độ ban đầu 3°C khi được lấy từ trong tủ lạnh ra. Lát bánh được đưa vào nướng trong lò có nhiệt độ 120°C không đổi. Biết hệ số tỏa nhiệt đối lưu là $5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Xác định thời gian cần nướng lát bánh mỳ để nhiệt độ tâm của lát bánh đạt 40°C .

a) 294 s

b) 336 s

c) 390,94 s

Tóm tắt đầu bài:

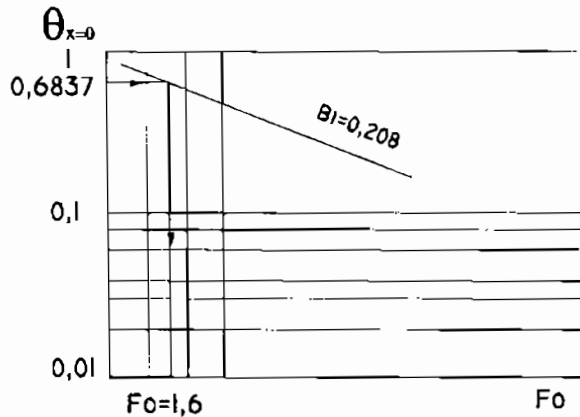
Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua vách phẳng – lát bánh mỳ – có bề dày $2\delta = 1 \text{ cm}$, từ $t_0 = 3^\circ\text{C}$, lên nhiệt độ $t_f = 120^\circ\text{C}$, ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$, $\rho = 280 \text{ kg/m}^3$, $C = 3600 \text{ J/kgK}$). Hãy tính τ .

Bài giải: Xem hình 9.8.

Ta tính được các tiêu chuẩn Bi và nhiệt độ không thứ nguyên tại tâm lát bánh mỳ:

$$\theta_{x=0} = \frac{(t_{x=0} - t_f)}{(t_0 - t_f)} = \frac{(40 - 120)}{(3 - 120)} = 0,6837$$

$$Bi = \frac{\alpha\delta}{\lambda} = \frac{5 * 0,005}{0,12} = 0,208$$



Hình 9.8.

Trên đồ thị ta tra được $Fo = 1,6$, rút ra được thời gian τ

$$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2} = 1,6, \quad \delta = 0,005\text{m};$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho C} = \frac{0,12}{280 * 3600} = 1,1905 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\tau = \frac{Fo\delta^2}{a} = \frac{1,6 * 0,005^2}{1,1905 \cdot 10^{-7}} = 336 \text{ s}$$

9.31. Một lon bia đường kính 60 mm cao 13 cm ở nhiệt độ ban đầu 1°C. Hãy tính thời gian để nhiệt độ của bia đạt 15°C khi lon bia được đặt trong phòng có nhiệt độ 25°C với hệ số tỏa nhiệt 15 W/m²K. Coi tính chất của bia như của nước.

a) 4312,94 s

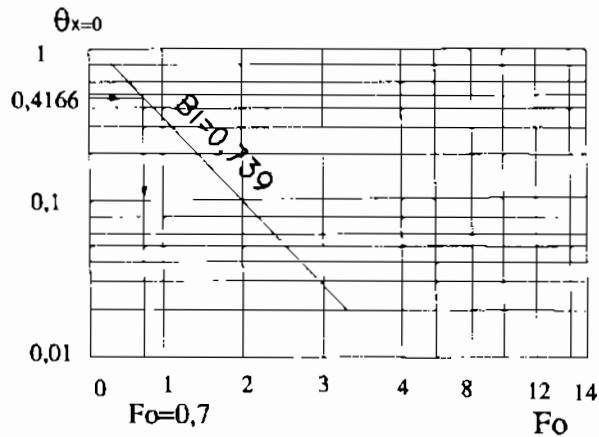
b) 5175,53 s

c) 5850,94 s

Tóm tắt đầu bài:

Ta có trường hợp dẫn nhiệt không ổn định qua thanh trụ – lon bia – có đường kính $d = 2r_0 = 60 \text{ mm}$, từ $t_0 = 1^\circ\text{C}$, lên nhiệt độ $t_f = 25^\circ\text{C}$; Hãy tính τ .

Bài giải:



Hình 9.9.

Với thanh trụ, các tiêu chuẩn đồng dạng có dạng như sau:

$$Bi = \frac{\alpha * r_0}{\lambda}, Fo = \frac{a\tau}{r_0^2}$$

Dựa trên nhiệt độ $t = 25^\circ\text{C}$, dựa vào bảng tính chất của nước, ta tra được $\lambda = 0,6085 \text{ W/mK}$, $\rho = 996,95 \text{ kg/m}^3$, $C = 4,179 \text{ J/kgK}$, suy ra $a = 1,460710^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Ta tính được:

$$Bi = \frac{\alpha * r_0}{\lambda} = \frac{15 * 0,03}{0,6085} = 0,739,$$

$$\theta_{r=0} = \frac{(t_{r=0} - t_f)}{(t_0 - t_f)} = \frac{(15 - 25)}{(1 - 25)} = 0,4166$$

Dựa trên đồ thị (xem hình 9.9) ta tra ngược được tiêu chuẩn Fo dựa trên 2 giá trị Bi và nhiệt độ không thứ nguyên 0,4166.

$$Fo = \frac{a\tau}{\delta^2} = 0,7, \quad \delta = 0,03m; a = 1,4607 \cdot 10^{-7} m^2/s$$

$$\tau = \frac{Fo\delta^2}{a} = \frac{0,7 \cdot 0,03^2}{1,4607 \cdot 10^{-7}} = 4312,9 \text{ s}$$

Bài tập về nhà:

9.32. (MS: 150501)

Một tấm thép dày 140 mm, được đốt nóng 2 mặt từ 27°C đến 350°C. Hệ số dẫn nhiệt độ bằng 0,025 m²/h. Biết Fourier $Fo = 5$. Tính thời gian đốt nóng tấm thép.

- a) 3,92 h b) 1,6 h c) 0,98 h

9.33. Một tấm phẳng có bề dày 400 mm được làm nguội trong không khí, hệ số dẫn nhiệt của không khí là 0,02 W/mK, của vật liệu là 50W/mK; hệ số toả nhiệt bằng 100 W/m²K. Trị số tiêu chuẩn Bi bằng bao nhiêu?

- a) 0,4 b) 1000 c) 0,92

9.34. Để làm nguội một tấm phẳng có bề dày δ từ 600°C xuống 40°C cần thời gian làm nguội bằng 3h. Thời gian làm nguội sẽ bằng bao nhiêu khi hệ số dẫn nhiệt độ tăng lên 1.2 lần, còn các điều kiện khác không đổi.

- a) 9000 s b) 6480 s c) 14150,91s

9.35. Một bức tường gạch lớn chiều dày 15 cm có nhiệt độ đồng đều ban đầu 0°C vào lúc nửa đêm. Từ 9h sáng nhiệt độ không khí xung quanh là 15°C và giữ nguyên không đổi đến 4h chiều. Hãy tính nhiệt độ ở giữa tâm tường vào giữa trưa. Biết hệ số toả nhiệt ở 2 bề mặt tường là 50 W/m²K và $\lambda = 0,72 \text{ W/mK}$, $a = 449,1 \cdot 10^{-9} m^2/s$.

- a) 10,88°C b) 13,98°C c) 19,4°C

9.36. Một thanh thép không gỉ (18%Cr, 8%Ni) ($a = 0,444 \cdot 10^{-5} m^2/s$, $\rho = 7,817 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 0,46 \text{ kJ/kgK}$, $\lambda = 16,3 \text{ W/mK}$) đường kính 8 mm có nhiệt độ ban đầu 50°C được đốt ngọt nhúng vào bình chất lỏng nóng có nhiệt độ 200°C với hệ số toả nhiệt 120 W/m²K. Hãy tính thời gian để nhiệt độ của tâm thanh đạt 110°C.

- a) 33,15 s b) 13261,26s c) 43,64s

9.37. Một khối gạch đặc ($\lambda = 0,69 \text{ W/mK}$, $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$, $C = 0,84 \text{ kJ/kgK}$, $\alpha = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) cao 1 m dài 3 m rộng 0,5 m được lấy từ lò gạch có nhiệt độ ban đầu 300°C được làm nguội xuống 35°C với hệ số tỏa nhiệt $15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lượng nhiệt khối gạch trên tỏa ra môi trường xung quanh là:

- a) 534240 kJ b) 320544kJ c) 616596,38kJ

9.38. Một lon bia dung tích 350 cm^3 ở nhiệt độ ban đầu 1°C . Hãy tính lượng nhiệt lon bia nhận trong phòng để nhiệt độ của bia đạt 25°C khi lon bia được đặt trong phòng có nhiệt độ 25°C với hệ số tỏa nhiệt $15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Coi tính chất của bia như của nước là coi lon bia như thanh trụ dài vô hạn.

- a) 35,11 kJ b) 28,09 kJ c) 33,08 kJ

9.39. Một tấm nhôm dày 100 cm ở nhiệt độ ban đầu 400°C được đột ngột đưa vào môi trường có nhiệt độ 90°C . Hệ số tỏa nhiệt $1400 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tính thời gian để nhiệt độ ở tâm tấm nhôm đạt 180°C .

- a) 53,46 s b) 343,14s c) 95,07s