Chương III : DẪN NHIỆT ỔN ĐỊNH

I. Dẫn nhiệt ổn định qua vách phẳng không có nguồn nhiệt bên trong ($q_v = 0$):

i gian

Trong chế độ nhiệt ổn đinh trường nhiệt độ không phụ thuộc thời gian,có nghĩa là $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$

Trong trường hợp ấy , phương trình có dạng :

$$\boxed{a.\nabla^2 t + \frac{q_v}{c.\rho} = 0}$$

Nếu vật không có nguồn nhiệt bên trong ($q_v = 0$):

$$\boxed{a.\nabla^2 t = 0 \Rightarrow \nabla^2 t = 0}$$

Vách phẳng :

$$\boxed{\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0}$$

t.

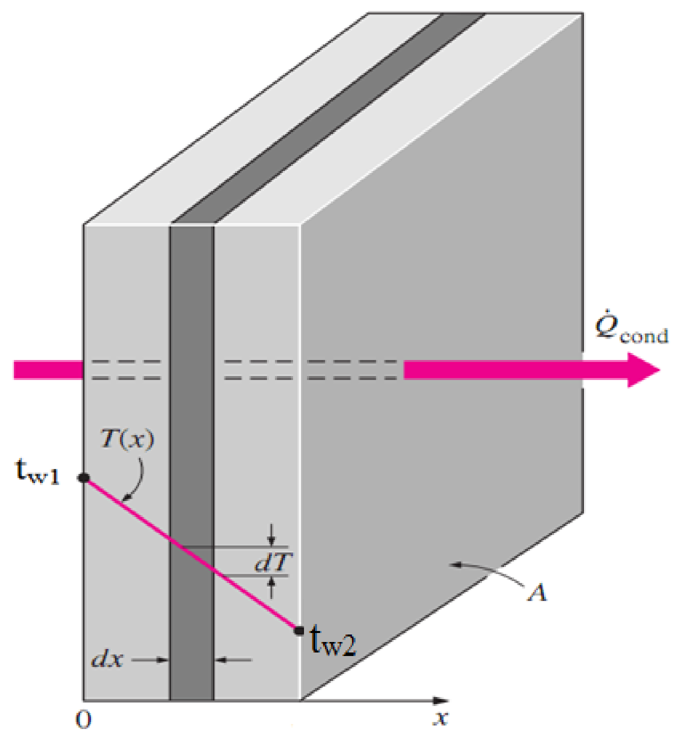
1. Vách phẳng một lớp

Xét một vách phẳng đồng chất và đẳng hướng , chiều dày δ và hệ số dẫn nhiệt λ, vách có chiều rộng rất lớn so với chiều dày , nhiệt độ hai bề mặt giữ không đổi là t_{w1} và t_{w2}

Do không xét theo phương y và z nên ta có :

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \Rightarrow \frac{dt}{dx} = C_1$$

$$\Rightarrow t = x.C_1 + C_2$$



Hằng số tích phân C_1 và C_2 được xác định từ điều kiện biên   i 1) :

- Khi x= 0 => t = t_{w1} $C_2 = t_{w1}$
- Khi x= δ => t = t_{w2} $C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} = -\frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta}$

Dựa vào định luật Fourier :

$$q = -\lambda.gradt = -\lambda.\frac{dt}{dx} = -\lambda C_1 = \lambda.\frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta}$$

Phương trình có thể viết dưới dạng :

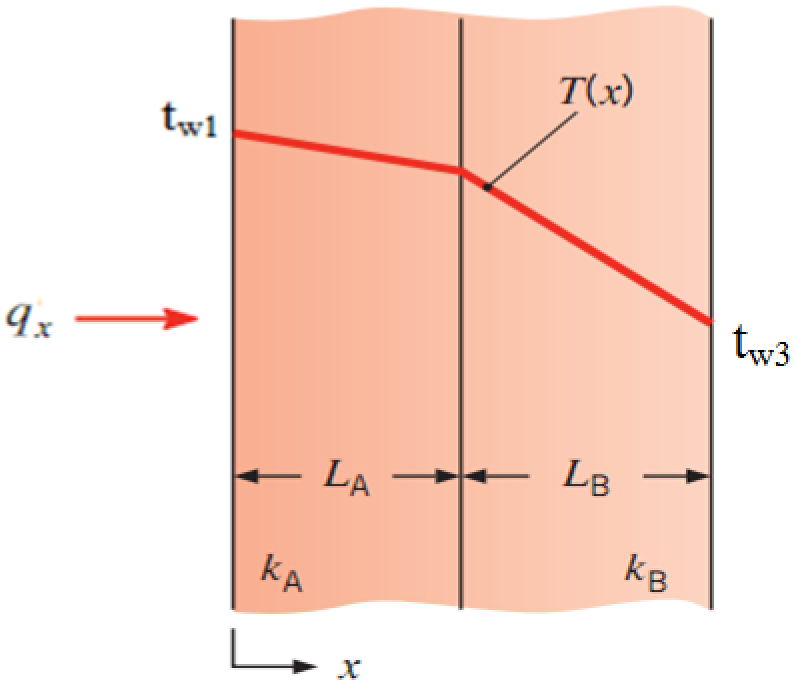
$$\boxed{q = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta / \lambda} \quad [W / m^2]}$$

2. Vách phẳng nhiều lớp

a.Vách 2 lớp :

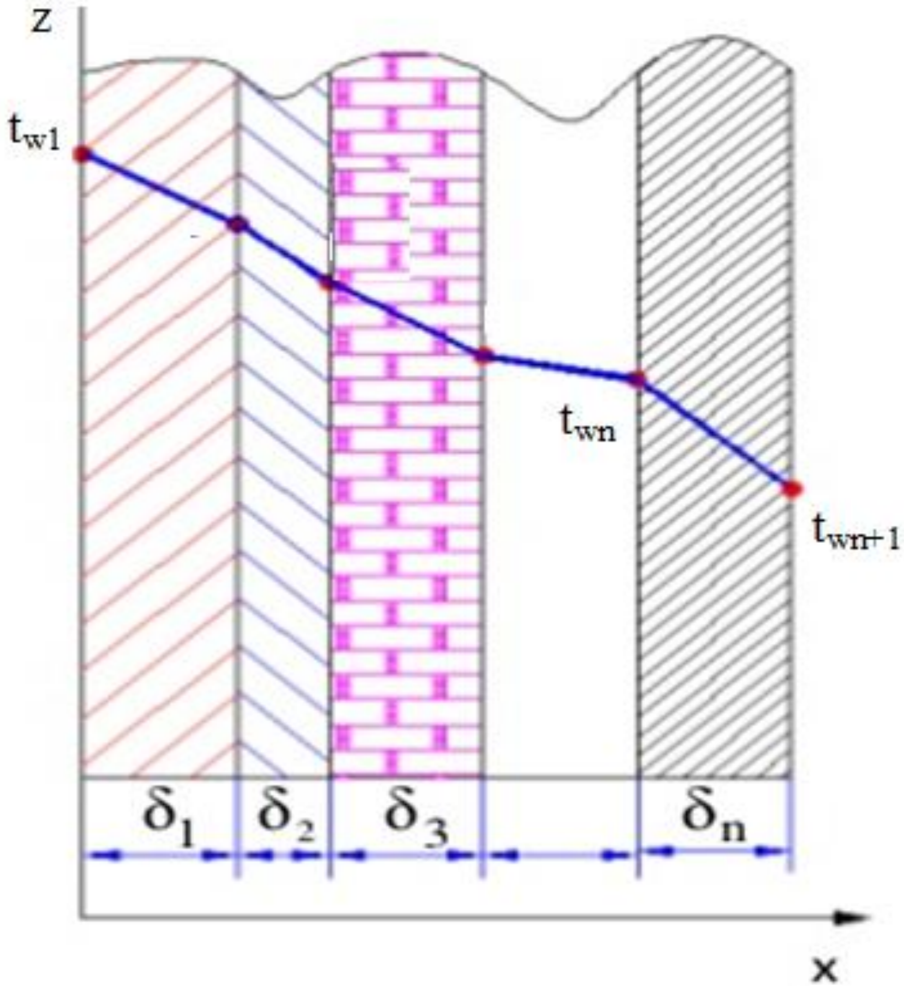
Xét vách phẳng 2 lớp (dài và rộng vô hạn)

- Lớp 1: Chiều dày δ_1, hệ số dẫn nhiệt λ_1
- Lớp 2: chiều dày δ_2, hệ dẫn nhiệt λ_2



$$q = \frac{t_{w1} - t_{w3}}{\dfrac{\delta_1}{\lambda_1} + \dfrac{\delta_2}{\lambda_2}} \quad [W/m]$$

b.Vách n lớp :



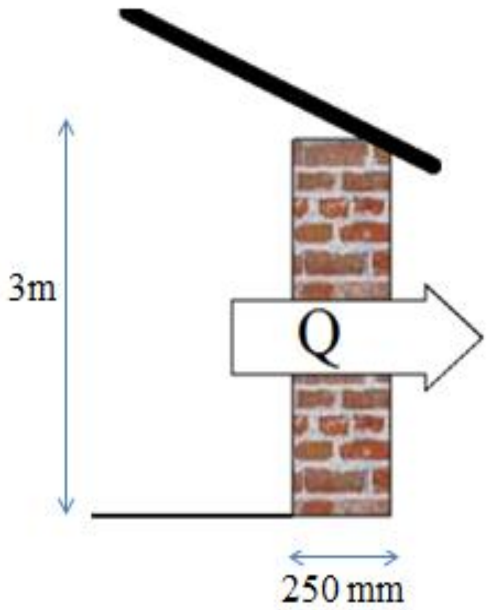
$$q = \frac{t_{w1} - t_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^{n} \delta_i / \lambda_i} \quad [W/m]$$

Bài tập ví dụ

Có một tường gạch rộng 5m, chiều cao 3m, hệ số dẫn nhiệt λ = 0,6 W/mK , có bề dày 250 mm , nhiệt độ bề mặt vách không đổi $t_{w1} = 70^0C$, $t_{w2} = 20^0C$.

Tính mật độ dòng nhiệt và tổn thất dòng nhiệt qua vách ?

Giải



$$q = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{70 - 20}{\frac{0,25}{0,6}} = 120 \left[W / m^2 \right]$$

Dòng nhiệt tổn thất qua vách:

Q = q.F = 120.(5.3) = 1800 [W]

II. Dẫn nhiệt ổn định qua vách trụ không có nguồn nhiệt bên trong ($q_v = 0$):

Trong chế độ nhiệt ổn định trường nhiệt độ không phụ thuộc thời gian , có nghĩa là : $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$

Trong trường hợp ấy, phương trình có dạng :

$$\boxed{a.\nabla^2 t + \frac{q_v}{c.\rho} = 0}$$

Nếu vật không có nguồn nhiệt bên trong ($q_v = 0$):

$$\boxed{a.\nabla^2 t = 0 \Rightarrow \nabla^2 t = 0}$$

$$\boxed{\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0}$$

$$: \quad \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \;\; ; \quad \frac{\partial t}{\partial \varphi} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r} = 0$$

ch phân C_1 C_2

Khi :

- $r = r_1 \Rightarrow t = t_{w1} = C_1.\ln r_1 + C_2$
- $r = r_2 \Rightarrow t = t_{w2} = C_2.\ln r_1 + C_2$

c C_1 C_2

$$C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln(r_1/r_2)} \; ; \; C_2 = t_{w1} - (t_{w1} - t_{w2}).\frac{\ln r_1}{\ln(r_1/r_2)}$$

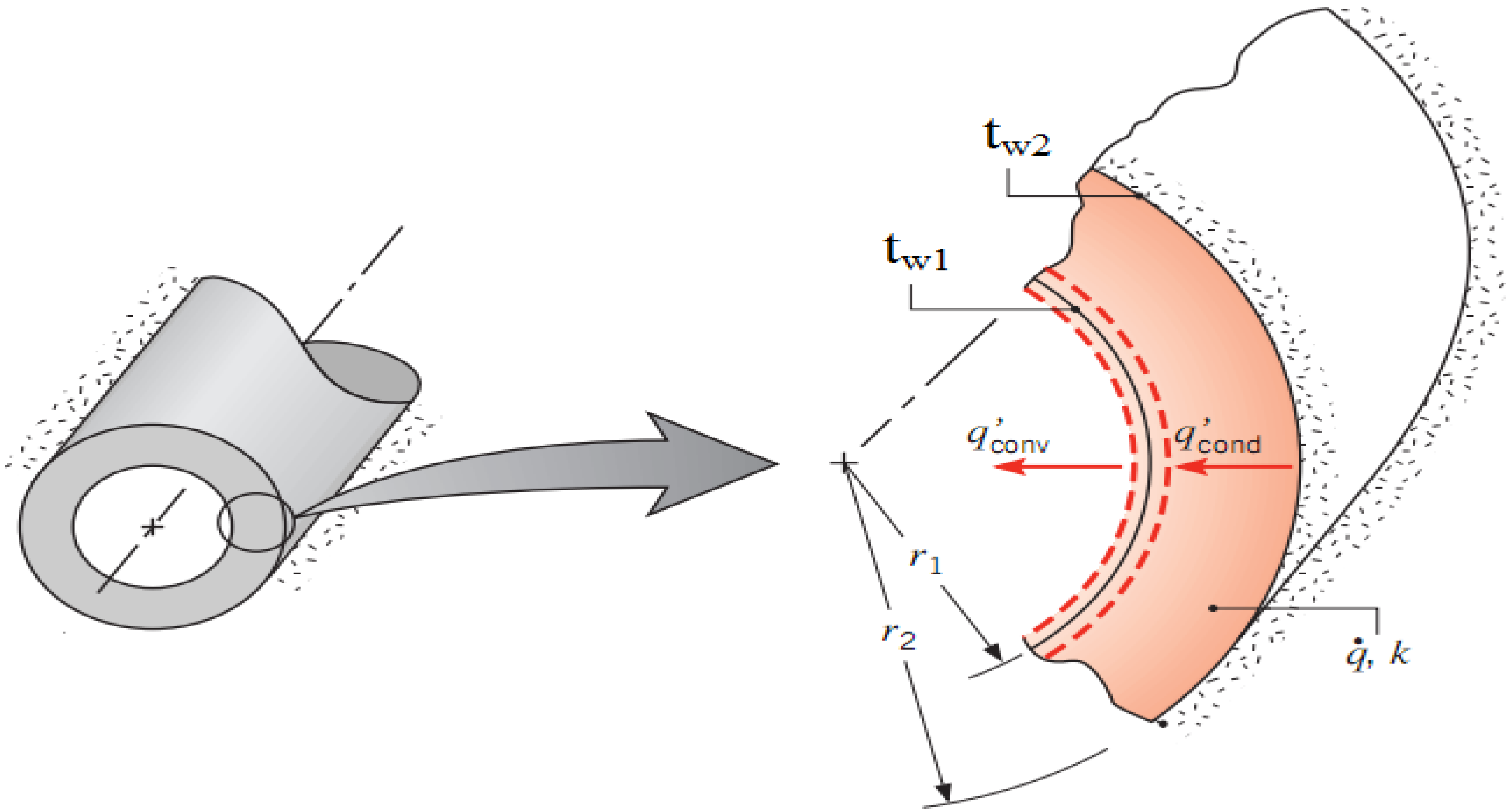
Thay C_1 C_2

$$t = t_{w1} - (t_{w1} - t_{w2}).\frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)} [^0 C]$$

Hoặc $$t = t_{w1} - (t_{w1} - t_{w2}).\frac{\ln(d/d_1)}{\ln(d_2/d_1)} [^0 C]$$

1. Vách trụ một lớp

Quá trình dẫn nhiệt qua vách trụ một lớp (ống tròn) đường kính trong $d_1 = 2r_1$ và đường kính ngoài $d_2 = 2r_2$ nhiệt độ hai bề mặt i là t_{w1} và t_{w2}



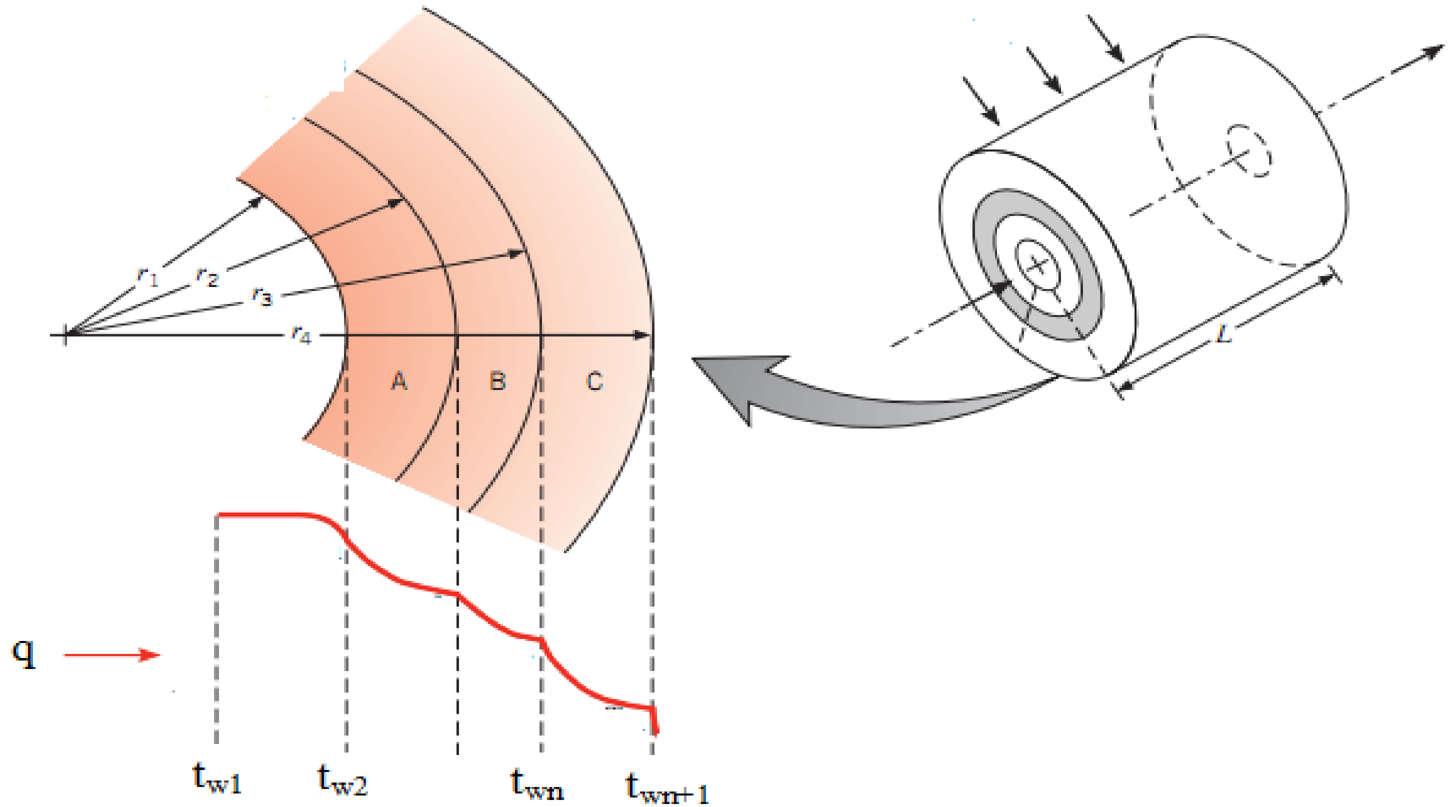
Vậy dòng nhiệt tổn thất qua vách trụ 1 lớp là:

$$Q = -\lambda F \frac{\partial t}{\partial r} = 2\pi L\lambda.\frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\ln(d_2 / d_1)} = \frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{2\pi\lambda}.\ln(d_2 / d_1)}$$

2. Vách trụ u lớp

ng nhau.

$$Q = \frac{t_{w1} - t_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2\pi\lambda_i L}.\ln\frac{d_{i+1}}{d_i}}$$



❖ **Lưu ý:** Đối với vách trụ do diện tích bề mặt trong và ngoài là F_1 và F_2 khác nhau nhưng có cùng chiều dài L nên người ta qui về một đơn vị độ dài ống.

$$q_L = \frac{Q}{L} = \frac{t_{w1} - t_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2\pi\lambda_i} . \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} [W/m]$$

Bài tập ví dụ

Một ống dẫn hơi có đường kính d_1 = 100 mm, d_2 = 110 mm , có hệ số dẫn nhiệt λ_1 = 55 (W/mK) , hệ số dẫn nhiệt của lớp cách nhiệt λ_2 = 0,09 (W/mK) , nhiệt độ vách trong và ngoài duy trì không đổi t = 200^0C , t = 50^0C.

Tính chiều dày lớp cách nhiệt để đảm bảo dòng nhiệt không quá 300 [W/m] ?

$$q_L = \frac{t_{w1} - t_{w3}}{\frac{1}{2\pi\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_3} + \frac{1}{2\pi\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2}}$$

$$= \frac{200 - 50}{\frac{1}{2\pi 55}\ln\frac{0.11}{0.1} + \frac{1}{2\pi 0.09}\ln\frac{d_3}{0.11}} = 300 \quad [W/m]$$

$\Rightarrow$ $d_3 = 146.3$ [mm]

$\Rightarrow$ $$\delta_2 = \frac{d_3 - d_2}{2} = \frac{146,3 - 110}{2} = 18,15 \text{ [mm]}$$

Vậy để tổn thất q_L không quá 300 [W/m] thì bề dày p cách nhiệt là 18,15 [mm]

III. Dẫn nhiệt ổn định qua vách u

u.

nh trong r_1 i r_2

t trong t_{w1} i t_{w2} i.

Vách cầu 1 lớp:

$$Q = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\dfrac{\delta_1}{\pi\lambda . d_1 . d_2}} (W)$$

Vách cầu n lớp:

$$Q = \frac{t_{w1} - t_{w_{n+1}}}{\sum_{i=1}^{n} \dfrac{\delta_i}{\pi\lambda_i . d_i . d_{i+1}}} (W)$$

IV. Dẫn nhiệt qua thanh có tiết diện không đổi:

t_f α_1

θ ta có : $\theta = t = t_f$

Với: t_f : nhiệt độ môi trường xung quanh thanh
t : nhiệt độ ở một tiết diện bất kỳ của thanh

Nếu biết nhiệt độ ở gốc thanh là t_1 thì nhiệt độ thừa ở gốc thanh là : $\theta_1 = t_1 = t_f$

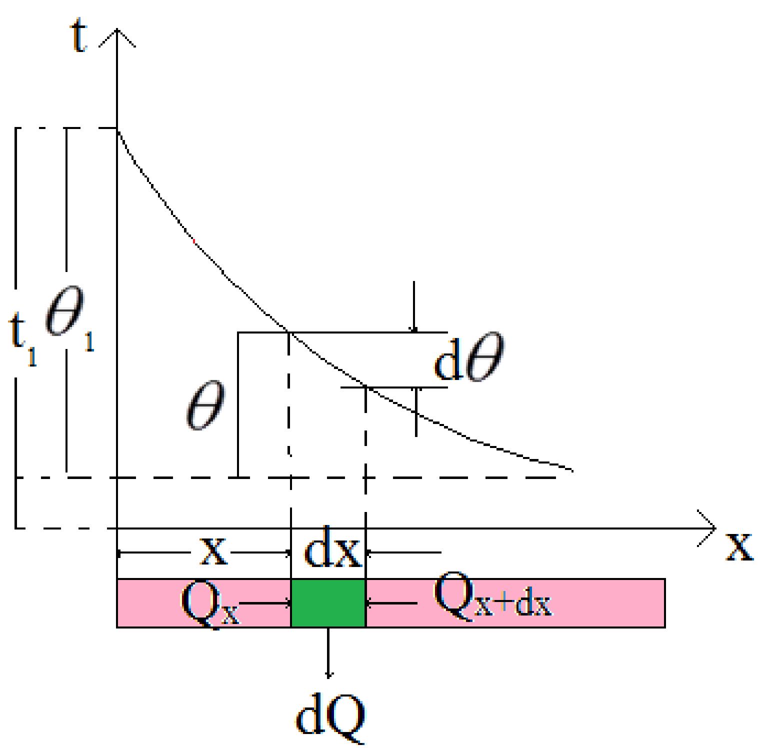
Xét phần tử của thanh có chiều dài dx cách gốc thanh 1 khoảng là x, ta có phương trình cân bằng nhiệt:

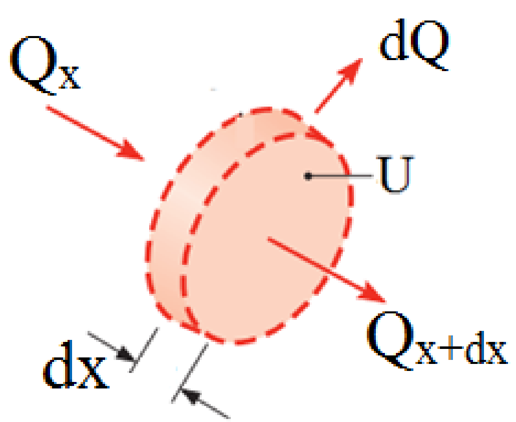
$$\boxed{Q_x - Q_{x+dx} = dQ}$$

Q_x : Nhiệt lượng đưa vào bên mặt trái của phần tử thanh trong 1 đơn vị thời gian

Q_{x+dx} : Nhiệt lượng ra khỏi bề mặt đối diện

dQ: Nhiệt lượng tỏa ra môi trường qua bề mặt xung quanh





t Fourier: $dQ_x = -\lambda f \dfrac{\partial t}{\partial x}$

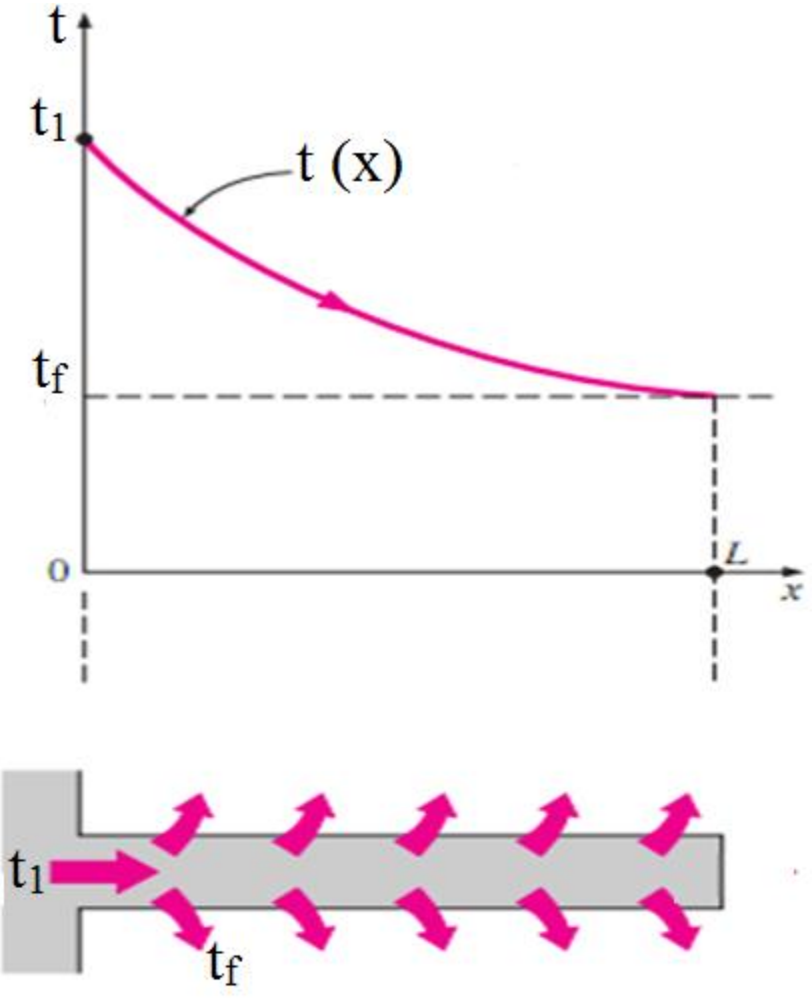
: $dQ_{x+dx} = -\lambda f \dfrac{\partial(\theta + \dfrac{d\theta}{dx} dx)}{\partial x}$

: $dQ = \lambda f \dfrac{d^2\theta}{dx^2} dx$

$$\boxed{\Rightarrow \alpha_1.U.\theta.dx = \lambda.f.\frac{d^2\theta}{dx^2} dx \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{\alpha_1.U}{\lambda.f}\theta}$$

$$\boxed{\text{Đặt } m^2 = \frac{\alpha_1 U}{\lambda f} \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dx^2} = m^2.\theta \Rightarrow \theta = C_1.e^{mx} + C_2.e^{-mx}}$$

nh thanh



Khi $x = 0 \Rightarrow \theta = \theta_1$

$$x = H \Rightarrow -\lambda \left(\frac{d\theta}{dx} \right)_{x=H} = 0$$

ch phân C_1 C_2

$$C_1 = \theta_1 \frac{e^{-mH}}{e^{mH} + e^{-mH}} \quad ; \quad C_2 = \theta_1 \frac{e^{-mH}}{e^{mH} + e^{-mH}}$$

:

$$\boxed{\theta = \theta_1 \frac{\mathrm{Ch}[m(H - x)]}{\mathrm{Ch}(mH)}}$$

Vậy nhiệt độ ở cuối thanh:

$$\theta_{x=H} = \theta_1 \frac{1}{Ch(mH)}$$

$$\Rightarrow Q = -\lambda f \frac{d\theta}{dx} = \lambda f \theta_1 m th(mH), [W]$$

Và khi :

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 U}{\lambda f}}$$

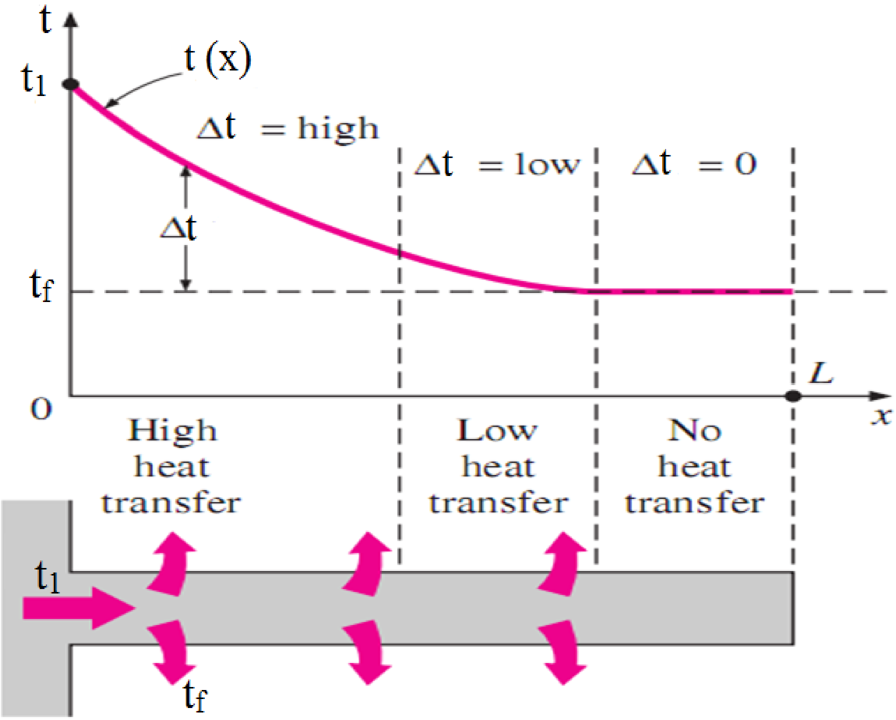
$$\Rightarrow Q = \sqrt{\alpha_1 U \lambda f}.\theta_1.th(mH), [W]$$

2 **n**

:

$$\theta_x = \lim_{x\to\infty} \theta_1 \frac{Ch\left[m\left(H-x\right)\right]}{Ch\left(mH\right)}$$

$$= \theta_1 . e^{-mx}$$



ng

xung quanh :

$$\boxed{Q = -\lambda f \frac{d\theta}{dx} = \lambda f m \theta_1}$$

Bài tập ví dụ

Một thanh kim loại làm thép có tiết diện là tam giác đều cạnh a = 4cm , chiều dài thanh H = 0,4m , có $\lambda = 50$ W/m.K, cường độ tỏa nhiệt $\alpha = 25$ W/m^{2}K , nhiệt độ môi trường không khí xung quanh $t_f = 20^0 C$.

Người ta hàn 1 đầu vào vách có nhiệt độ 120^{0}C. Xác định nhiệt lượng truyền qua và nhiệt độ đỉnh thanh t_H

Giải

Với : $\theta_1 = t_1 - t_f = 120 - 20 = 100^0 C$

$$U = 3.a = 3 \times 0,04 = 0,12 \quad [\text{m}]$$

Ta có :

$$f = \frac{1}{2} a \times H = 0,5 \times 0,04 \times \frac{0,04\sqrt{3}}{2} = 6,928.10^{-4}$$

- $m=\sqrt{\dfrac{\alpha U}{\lambda f}}=\sqrt{\dfrac{25\times 0,12}{50\times 6,928.10^{-4}}}=9,3$
- $mH=9,3\times 0,4=3,72$

$Ch(mH)=20,64$

- $\theta_H=\dfrac{\theta_1}{Ch(mH)}=\dfrac{100}{20,64}=4,8\ [^0C]$

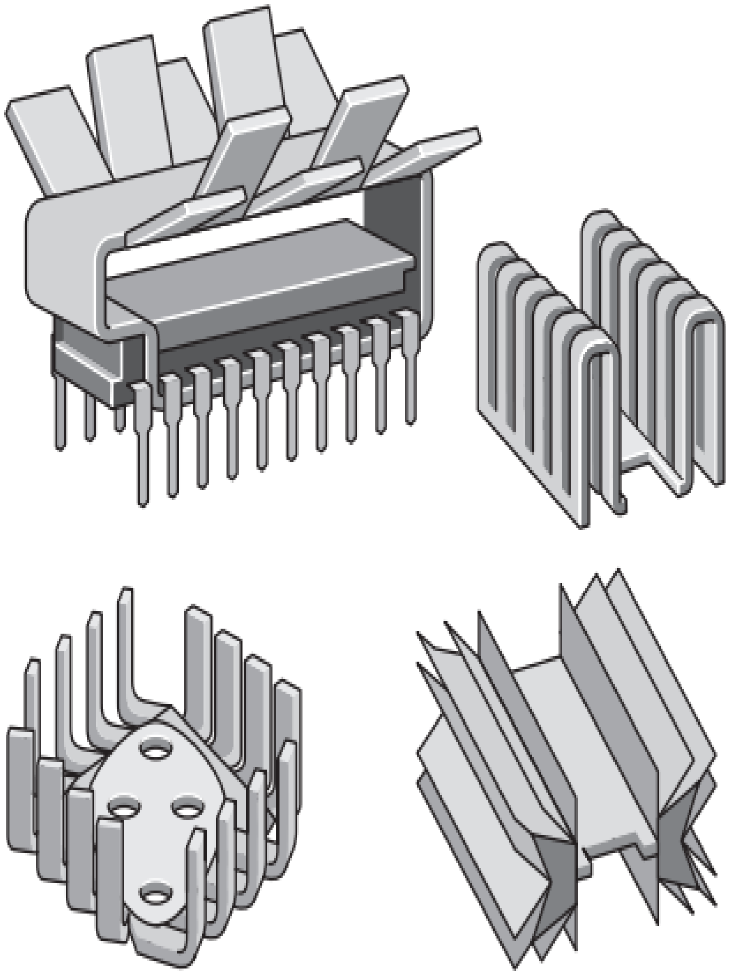
$t_H=\theta_H+t_f=4,8+20=24,8\ [^0C]$

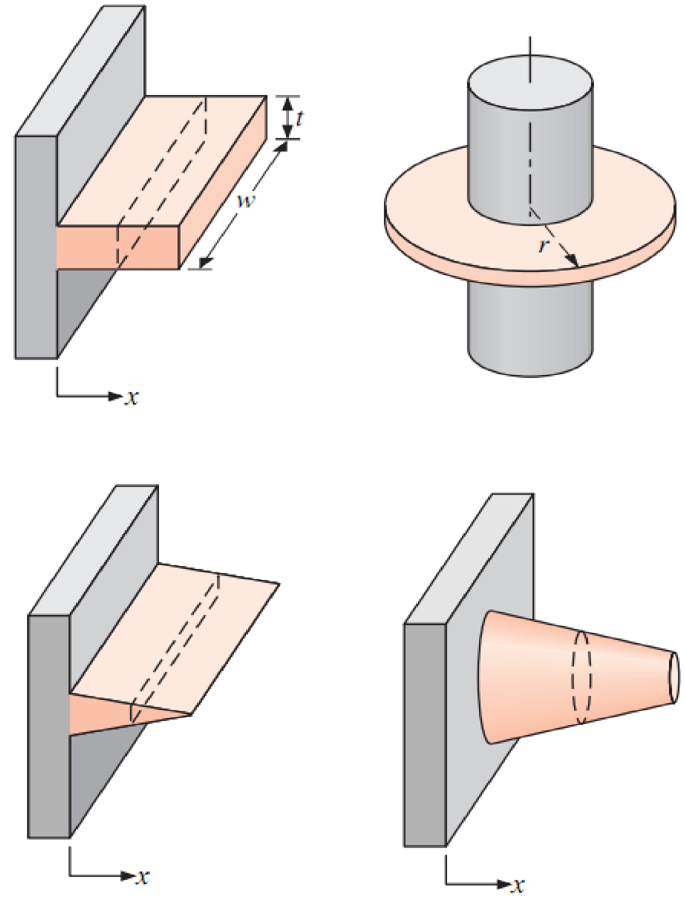
Nhiệt lượng truyền qua thanh :

$Q=m.\lambda.f.\theta_1.Th(mH)$

$=9,3\times 50\times 6,928.10^{-4}\times Th(3,72)=32,2$ [W]

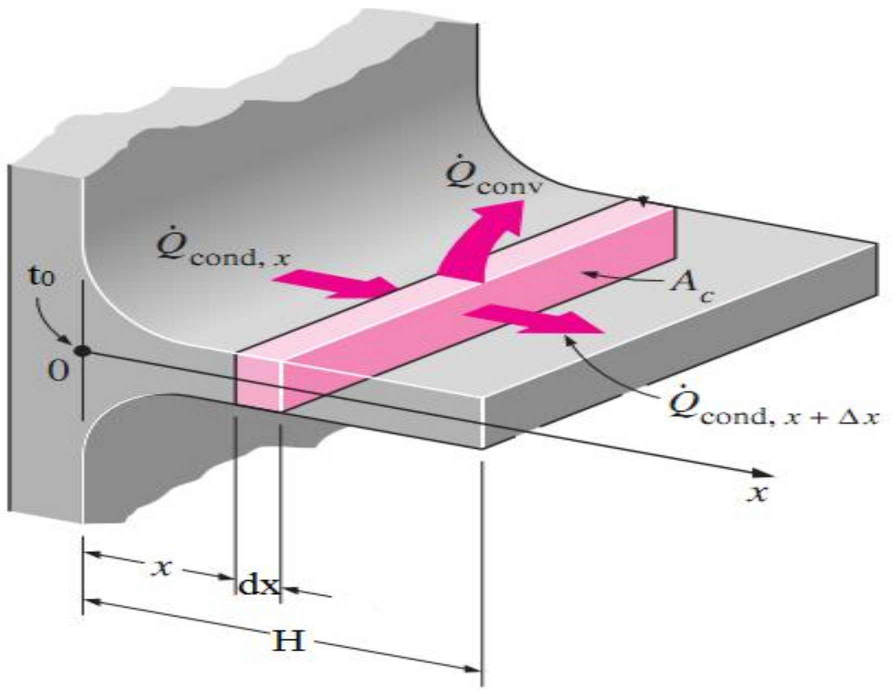
V. Dẫn nhiệt qua nh:





1. Cánh có chiều dày không đổi:

Giả thiết cánh thẳng có chiều dày δ, chiều cao H, chiều rộng W, vật liệu làm cánh có hệ số dẫn nhiệt λ, hệ số tỏa nhiệt từ bề mặt cánh ra môi trường xung quanh α_1, nhiệt độ môi trường không đổi t_f.



Vì W >> δ nên sự thay đổi nhiệt độ trong cánh cũng tương tự như thanh nên ta có thể sử dụng công thức của thanh để tính cho cánh

Nếu bỏ qua toả nhiệt đỉnh cánh thì :

$$\boxed{\theta_H = \theta_1 \frac{1}{Ch(mH)} \left[{}^0C\right]}$$

Với θ_H là nhiệt độ thừa ở đỉnh cánh.

Và : $$\boxed{Q = m\lambda f \theta_1 Th(mH)\left[W\right] \ ; \ m = \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda f}}}$$

2. Hiệu suất cánh:

Để chỉ rõ khả năng trao đổi nhiệt của cánh người ta đưa ra khái niệm hiệu suất của cánh và được xác định như sau :

$$\boxed{\eta_C = \frac{Q_c}{Q_{lt}}}$$

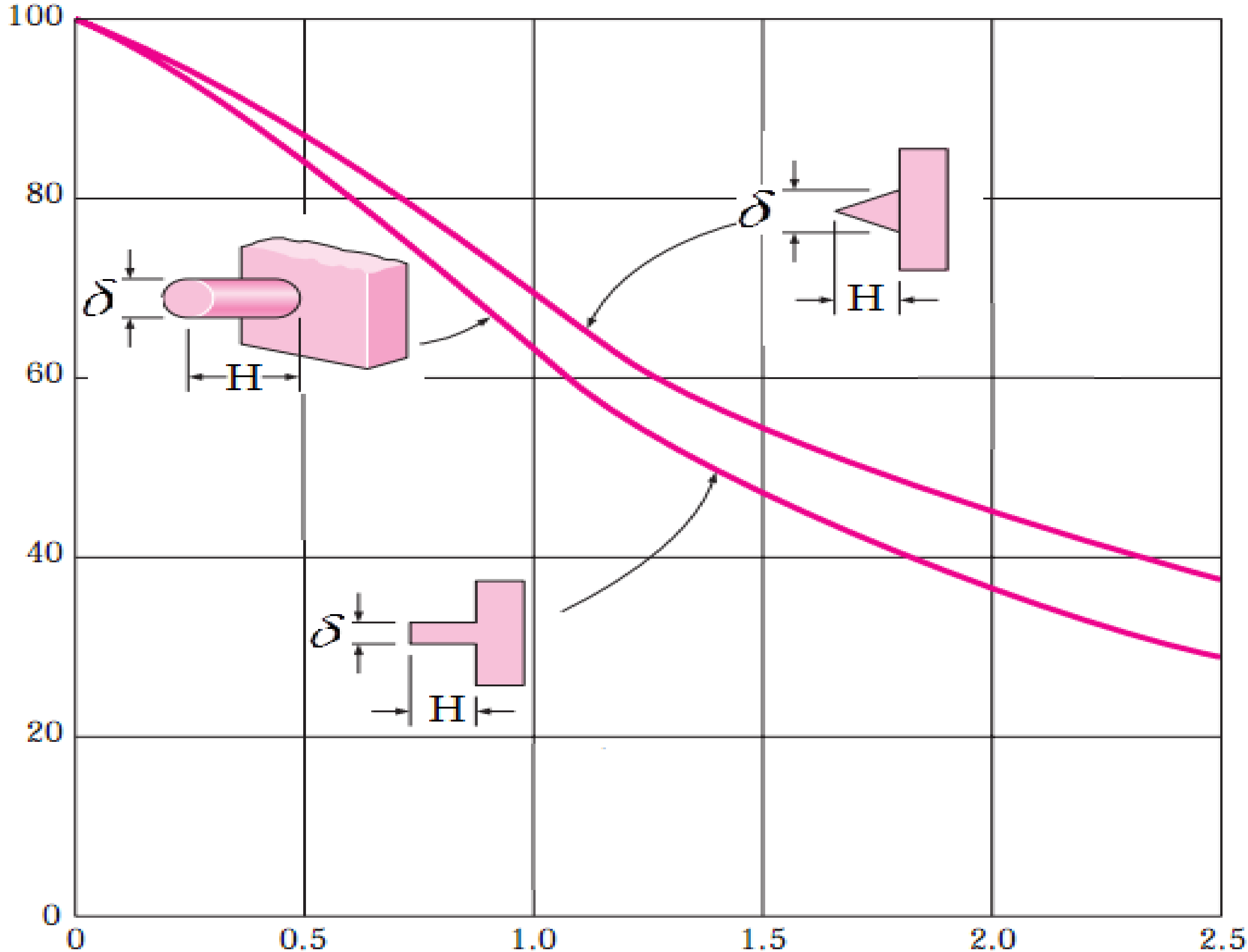
Trong đó :

Q_c : Nhiệt lượng truyền thực qua cánh.

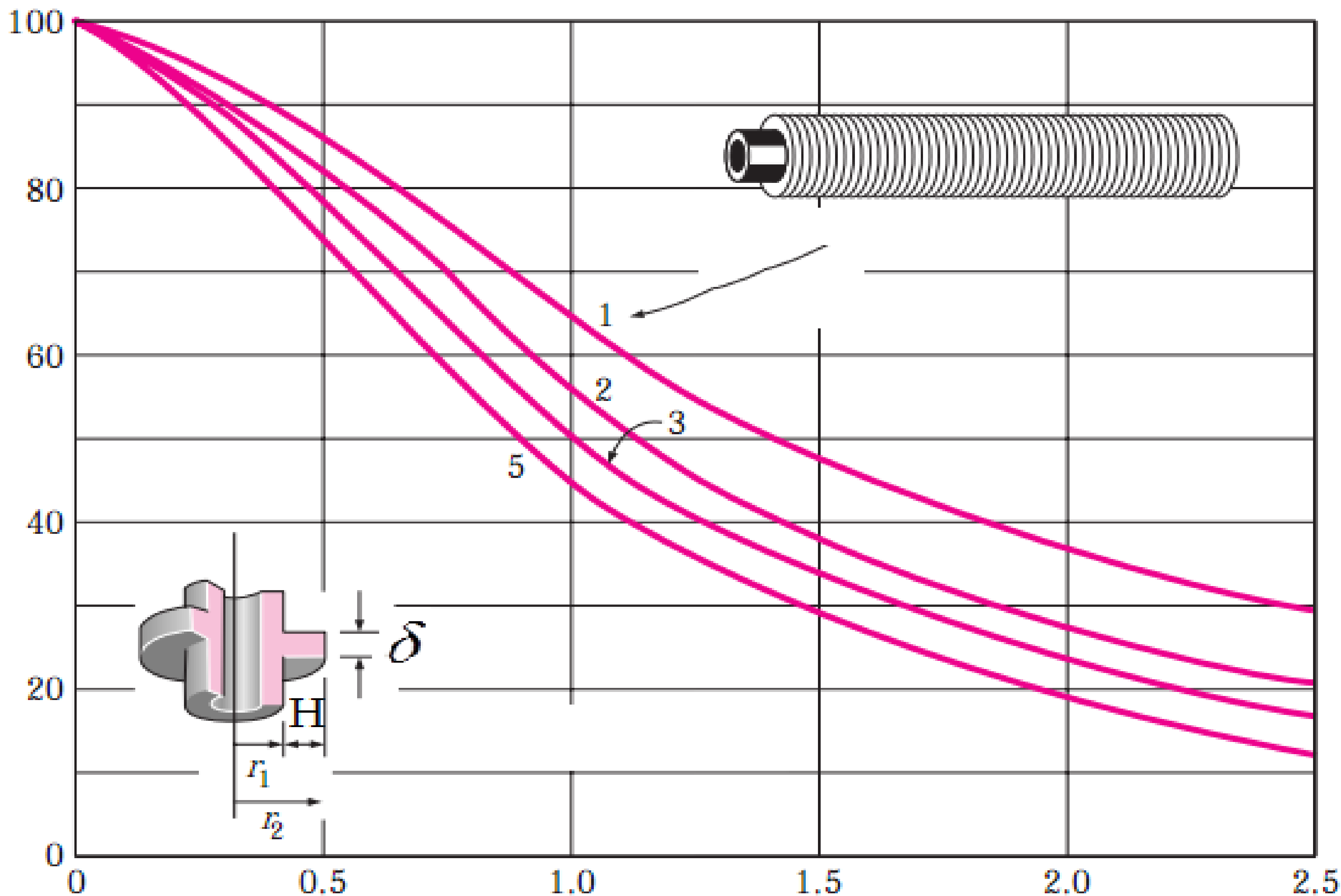
Q_{lt} : Nhiệt lượng có thể truyền qua cánh nếu toàn bề mặt cánh có nhiệt độ bằng nhiệt độ gốc cánh

Mà tính theo Định luật Newton-Ricman thì:

$Q_{lt} = \lambda_{.} F_c \, \theta_1$ (F_c : diện tích bề mặt trao đổi nhiệt)



Hiệu suất cánh thẳng các loại



Hiệu suất cánh tròn tiết diện không đổi

Bài tập ví dụ

Nòng xylanh của động cơ đốt trong có 15 cánh , chiều dày cánh $\delta = 2,5$ mm , chiều cao cánh H = 25mm, đường kính ngoài của nòng xylanh d = 65mm chiều cao của nòng xylanh H' = 170mm.

Cánh được làm bằng hợp kim nhôm có hệ số dẫn nhiệt $\lambda = 150$ W/m.^{0}C, nhiệt độ gốc cánh 210^{0}C, nhiệt độ môi trường không khí xung quanh t = 30^{0}C, cường độ tỏa nhiệt độ từ bề mặt cánh ra môi trường là $\alpha = 50$ W/m^2.^{0}C

Tính nhiệt lượng truyền qua nòng xylanh và so sánh với trường hợp không làm cánh?

Giải

Để xét đến ảnh hưởng của toả nhiệt ở đỉnh cánh , người ta thường tăng chiều cao cánh thêm một nữa chiều dày cánh

$$H_c = H + \delta / 2 = 25 + \frac{2,5}{2} = 26,25 \quad [mm]$$

$$r_{2c} = r_1 + H_c = \frac{65}{2} + 26,25 = 58,75 \quad [mm]$$

$$f_p = \delta H_c = 2,5 \times 26,25 = 65,6 \quad [mm^2] \quad = 6,56.10^{-5}\,[m^2]$$

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda f_p}\right)^{\frac{1}{2}} H_c^{3/2} = \left(\frac{50}{150 \times 6,56.10^{-5}}\right)^{\frac{1}{2}} \times (0,02625)^{3/2} = 0,303$$

Từ đồ thị Hiệu suất của cánh tròn tiết diện không đổi với $r_{2c} / r_1 = 1,8$ ta tìm được hiệu suất $\eta_c = 0,9$

Nhiệt lượng truyền qua một cánh lý thuyết :

$$Q_{lt} = \alpha F_c\left(t_g - t_f\right) = \alpha \times 2\pi\left(r^2{}_{2c} - r^2{}_1\right)\times\left(t_g - t_f\right)$$

$$= 50\times 2\pi\left[\left(0,05875\right)^2 - \left(\frac{0,065}{2}\right)^2\right]\times\left(210-30\right)$$

$$= 135,5 \quad [\mathrm{W}]$$

Nhiệt lượng thực truyền qua một cánh :

$$Q_c = \eta_c \times Q_{lt} = 0,9\times 135,5 = 121,8\,(W)$$

Nhiệt lượng truyền qua nòng xylanh phần không làm cánh :

$$Q_{oc} = \alpha\pi d_1\left(H' - n\delta\right)\left(t_g - t_f\right)$$

$$= 50\pi\times 0,065\left(0,17 - 15\times 0,0025\right)\left(210-30\right)$$

$$= 243,4 \quad [\mathrm{W}]$$

Nhiệt lượng của xylanh truyền cho không khí :

$$Q = nQ_c + Q_{oc} = 15 \times 121,8 + 243,4 = 2070,4W$$

Nhiệt lượng truyền qua nòng xylanh không làm cánh :

$$Q_0 = \alpha \pi d_1 \times H' \times \left(t_g - t_f\right)$$

$$= 50\pi \times 0,065 \times 0,17 \times \left(210 - 30\right)$$

$$= 312,3 \quad [\mathrm{W}]$$

So sánh 2 trường hợp ta nhận thấy

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2070,4}{312,3} = 6,63$$