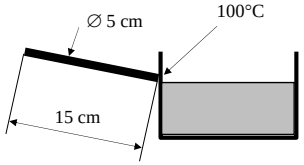
Problem 3.1

Calculate heat transfer rate through a pot handle as shown in the figure. Also find temperature distribution along it. The surface convective heat transfer coefficient is 4 $W/m^2.K$. The surrounding temperature is 25°C. Assuming that the handle material is stainless steel 304, or brass.



<u>วิธีทำ</u> จากรูปเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านด้ามจับสแตนเลสทรงกระบอกของหม้อต้มน้ำ ที่มีลักษณะเป็นวัตถุยื่นออกจากผิวของหม้อต้มทำหน้าที่เหมือนกับครีบระบายความร้อนออกจากผนังหม้อต้ม

สมมติฐาน: 1.) การนำความร้อนในสภาวะคงที่ 2.) การนำความร้อนในหนึ่งมิติ 3.) ไม่มีแหล่งความร้อนก่อตัวขึ้นภายใน 4) หน้าตัดของด้ามจับคงที่ และ 5)ไม่มีการพาความร้อน ออกจากส่วนปลายของครีบ ดังนั้นอัตราการนำความร้อนจากฐานของด้ามจับจึงมีค่าเท่ากับอัตราการระบายความร้อนโดยการพาความร้อนที่ผิวด้านข้างของด้ามจับ

สมการใช้งาน: จากสมมติฐานจะเลือกใช้สมการ ที่ 3.31 สำหรับการหาค่าอัตราการระบายความร้อนออกด้วยครีบที่มีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเมื่อ $q_z = k \cdot A \cdot m \cdot \theta_w \tanh(m \cdot L)$ และใช้สมการที่ 3.27 ในการหาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความยาวของด้ามจับ $\frac{T_z - T_\infty}{T_w - T_\infty} = \frac{\theta}{\theta_w} = \frac{\cosh[m \cdot L(1 - z/L)]}{\cosh(m \cdot L)}$

สิ่งที่โจทย์กำหนดให้: อากาศ: T_∞=25°C, $\bar{h}_c$ = 4 $W/m^2.K$,
ด้ามจับสแตนเลส 304 : L = 15 cm., เส้นผ่าศูนย์กลางด้ามจับ (∅) = 5 cm.
T_w =100 °C, k = 14.4 W/m.K

การวิเคราะห์:

1) หาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านด้ามจับพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเมื่อ $q_z = k \cdot A \cdot m \cdot \theta_w \tanh(m \cdot L)$

เมื่อ $$m = \sqrt{\frac{\bar{h}_c \cdot P}{k \cdot A}} = \sqrt{\frac{4.[W/m^2.K] \times (\pi \times D)[m]}{14.4.[W/m.K] \times (\pi \times D^2/4)[m^2]}}$$

$$m = \sqrt{\frac{\bar{h}_c \cdot P}{k \cdot A}} = \sqrt{\frac{4.[W/m^2.K] \times (\pi \times 0.05)[m]}{14.4.[W/m.K] \times (\pi \times 0.05^2/4)[m^2]}}$$

$$m = 4.7 \left[\frac{1}{m}\right]$$

และ $\theta_w = T_w - T_\infty = 100 - 25 = 75$ °C

ดังนั้น $q_z = k \cdot A \cdot m \cdot \theta_w \tanh(m \cdot L)$

$$q_z = 14.4.[W/m.K] \times \left(\frac{\pi \times 0.05^2}{4}.[m^2]\right) \times \left(4.7.\left[\frac{1}{m}\right]\right) \times 75.[K] \times \left(\tanh\ (4.7\left[\frac{1}{m}\right] \times 0.15[m])\right)$$

ดังนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านด้ามจับมีค่าเป็น q_z = **6.05 W**

2) หาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความยาวของด้ามจับจาก

$$\frac{T_z - T_\infty}{T_w - T_\infty} = \frac{\theta}{\theta_w} = \frac{\cosh[m \cdot L(1 - z/L)]}{\cosh(m \cdot L)}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการข้างบนจะได้

$$\frac{T_z - 25}{100 - 25} = \frac{\cosh\left[4.7\left[\frac{1}{m}\right] \times 0.15\,[m] \times \left(1 - \frac{z}{0.15}\right)\right]}{\cosh\ (\ 4.7\left[\frac{1}{m}\right] \times 0.15\,[m]\ )} = \frac{\cosh\left(0.705 \times \left(1 - \frac{z}{0.15}\right)\right)}{1.26}$$

$$T_z = 25 + \left(75 \times \frac{\cosh\left(0.705 \times \left(1 - \frac{z}{0.15}\right)\right)}{1.26}\right) = 25 + \left(59.52 \times \cosh\left(0.705 \times \left(1 - \frac{z}{0.15}\right)\right)\right)$$

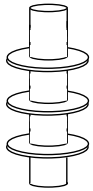
ดังนั้นค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิตลอดความยาวของด้ามจับที่ตำแหน่ง z ใดๆจากฐานสามารถคำนวณได้จาก

$$T_z = 25 + \left(59.52 \times \cosh\left(0.705 \times \left(1 - \frac{z}{0.15}\right)\right)\right)$$

Problem 3.2

Hot steam flows through a tube whose outer diameter is 3 cm and whose wall are maintained at 120°C. Circular aluminum fins of outer diameter of 6 cm and constant thickness of 2 mm are attached to the tube. The space between the fins is 3 mm and thus there are 200 fins/meter. The surrounding air temperature is 25°C and the convective heat transfer coefficient is 60 W/m^2.K. Determine the increase in heat transfer rate per meter as a result of adding these fins.

ไอน้ำไหลในท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 3 cm ที่ผนังด้านนอกของท่อมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 120°C ที่ผนังด้านนอกของท่อมีการติดตั้งชุดครีบอลูมิเนียม (k = 186 W/m.K) ดังรูป โดยที่ครีบแต่ละแผ่นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 6 cm และมีความหนา 2 mm ระยะห่างระหว่างครีบแต่ละแผ่นเท่ากับ 3 mm ทำให้มีจำนวนครีบทั้งหมด 200 แผ่นต่อความยาวท่อ 1 เมตร หากกำหนดให้อุณหภูมิอากาศด้านนอกท่อเท่ากับ 25°C และมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ 60 W/m^2.K จงหาขนาดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยความยาวท่อเมื่อติดตั้งชุดครีบดังกล่าว



สิ่งที่โจทย์กำหนดให้

R_2=0.06/2 =0.03 m, R_1=0.03/2 =0.015 m

δ = 0.002/2 =0.001 m.

$R_{2C}=R_2+\delta$

H =1 [m]

<u>วิธีทำ</u> สมมติฐาน: 1.) การนำความร้อนในสภาวะคงที่ 2.) การนำความร้อนในหนึ่งมิติ 3.) ไม่มีแหล่งความร้อนก่อตัวขึ้นภายใน

จากรูปที่ 3.8 เมื่อ $q = \eta_{fin}.\bar{h}_c.A_s(T_w - T_\infty)$

เมื่อ $L_c = L + \delta = (R_2-R_1)+ \delta = (0.03-0.015)+(0.002/2) = 0.0016$ [m]

$R_{2C}=R_2+\delta = 0.03+0.001 =0.031$ [m]

$A_p = 2\delta L_c = 2\times 0.001$ [m] $\times$ 0.0016 [m] = 3.2×10^{-5} [m^2]

$A_s = 2\pi(R_{2c}^2 - R_1^2) = 2\pi \times \{(0.031\ [m])^2-(0.015[m])^2\}= 0.00462$ [m^2]

ทำการหาค่า $L_c^{3/2}(\bar{h}_c / k A_p)^{1/2}$ และ R_{2C}/R_1 เพื่อหาค่า η_{fin} จากกราฟรูปที่ 3.8
เมื่อ

$$L_c^{3/2}(\bar{h}_c / k A_p)^{1/2} = (0.0016\ [m])^{3/2} \times \left(\frac{60\ [W/m^2.K]}{186\ [W/m.K] \times\ 3.2\ \times10^{-5}[m^2]}\right)^{1/2} = 0.2032$$

และ R_{2C}/R_1 = 0.031 [m] /0.015 [m] = 2.067

ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 3.8 เมื่อ $L_c^{3/2}(\bar{h}_c / k A_p)^{1/2} \cong 0.2$ และ $R_{2C}/R_1 \cong 2$ จะได้ η_{fin} = 0.93

$q = \eta_{fin}.\bar{h}_c.A_s(T_w - T_\infty)$ =0.93 $\times$ 60 [W/m^2.K] $\times$ 0.00462 [m^2] $\times$ (120 -25) [K] =24.51 [W]

$A_b=2\pi R_1(H-N.2.\delta)=0.0565[m^2]$

$A_t=N.A_s+A_b=\{200\times0.00462\ [m^2]\}+ 0.0565[m^2]= 0.9814\ [m^2]$

$$\eta_{overall} = 1-\frac{N.A_s}{A_t}(1-\eta_{fin}) = 0.934$$

$q_t = \eta_{overall}.\bar{h}_c.A_t(T_w - T_\infty) = 5225$ [W]

หากไม่ได้ติดครีบ อัตราการถ่ายเทความร้อนคือ

$$q_o = \bar{h}_c.A_o.(T_w - T_\infty) = \bar{h}_c.(2.\pi.R_1 \times H).(T_w - T_\infty)$$

$$= 60\ [W/m^2.K] \times(2\ \pi \times0.015\ [m] \times1\ [m]) \times(120-25)[K] = 537.2\ [W]$$

$\Delta q = q_t - q_o = 5225$ [W]- 537.2 [W] = 4688 [W]

เนื่องจากข้อนี้กำหนดความยาวท่อที่ 1 เมตร เพราะฉะนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยความยาวท่อเมื่อติดตั้งชุดครีบดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 4688 [W]