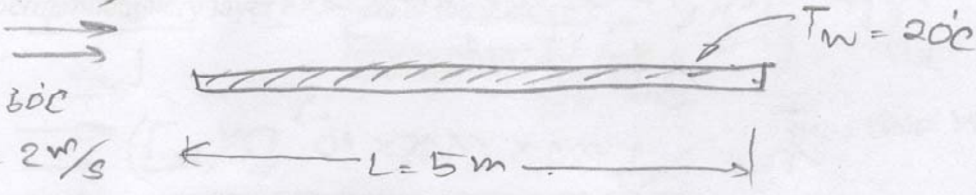
Example 6.1

Engine oil at 60°C flows over the upper surface of a 5 m long flat plate whose temperature is 20°C with a velocity of 2 m/sec. Determine the total drag force and the rate of heat transfer per unit width of the entire plate.

อุณหภูมิพื้นผิวคงที่

Sol^n Engine Oil



$T_\infty = 60°C$

$V_\infty = 2\ m/s$

$$Re_L = \frac{V_\infty \cdot L}{\nu}$$

for Engine Oil; properties at $T_{av} = \frac{T_\infty + T_w}{2} = \frac{60+20}{2} = 40°C$

at 40°C $\rightarrow \nu = 288\times10^{-6}\ \frac{m^2}{s}$, $Pr \approx 3400$, $\rho = 877.9\ \frac{kg}{m^3}$, $k_f = 145\times10^{-3}\ [\frac{W}{m \cdot K}]$

$$\therefore Re_L = \frac{2\left[\frac{m}{s}\right]\cdot 5[m]}{288\times10^{-6}\left[\frac{m^2}{s}\right]} = 0.347\times10^5 < Re_{cri} = 5\times10^5$$

∴ การไหลเป็นการไหลแบบราบเรียบตลอดความยาว 5 m.

For laminar flow

① แรงลากผิว; $D_f = \frac{1}{2} C_D \rho V_\infty^2 A$.

เมื่อ $C_D = \frac{1.328}{\sqrt{Re_L}} = \frac{1.328}{\sqrt{0.347\times10^5}} = 0.007129$

$$\therefore D_f = \frac{1}{2}(0.007129)\cdot(877.9\left[\frac{kg}{m^3}\right])\cdot(2\left[\frac{m}{s}\right])^2\cdot(5\cdot W)\ [m^2]$$

แปลงให้เป็น แรงลากผิวต่อหน่วยความกว้าง $\left(\frac{D_f}{W}\right)$

$$\therefore \frac{D_f}{W} = \frac{1}{2}(0.007129)\cdot(877.9\left[\frac{kg}{m^3}\right])\cdot(2\left[\frac{m}{s}\right])^2\cdot(5[m])$$

$$= 62.59\left[\frac{kg}{s^2}\right] \Rightarrow = 62.59\left[\frac{N}{m}\right]$$

② อัตราการถ่ายเทความร้อน

$$Q = \bar{h}\cdot A\cdot(T_\infty - T_w) = \bar{h}\cdot(W\cdot L)\cdot(T_\infty - T_w)$$

⇒ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความกว้างของแผ่นเรียบ.

$$\frac{Q}{W} = \bar{h}\cdot L\cdot(T_\infty - T_w)$$

สำหรับการไหลแบบเรียบ, ที่ผิวมีอุณหภูมิคงที่,

$$\overline{Nu}_L = 0.644\, Re_L^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.644\,(0.347\times10^5)^{\frac{1}{2}} \cdot (3400)^{\frac{1}{3}} = 1,804$$

จาก $\overline{Nu}_L = \dfrac{\bar{h}\cdot L}{k_f} \rightarrow \bar{h} = \dfrac{\overline{Nu}_L \cdot k_f}{L}$

$$\bar{h} = \frac{1,804\times(145\times10^{-3}\,[\frac{W}{m.K}])}{5\,[m]}$$

$$\therefore \bar{h} = 52.31 \quad \left[\frac{W}{m^2.K}\right]$$

$$\therefore \frac{Q}{W} = 52.31\left[\frac{W}{m^2.K}\right]\cdot 5\,[m]\cdot(60-20)\,[K]$$

$$\therefore \frac{Q}{W} = 10,463 \quad \left[\frac{W}{m}\right]$$

ดังนั้น

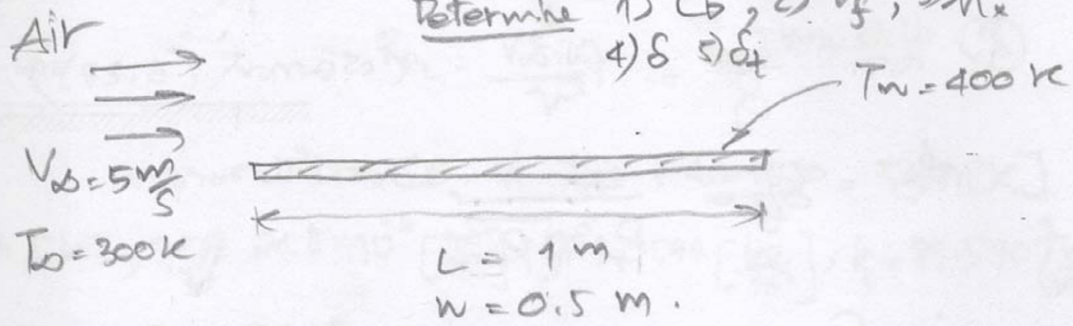
- แรงฉุดเนื่องจากแรงเฉือนต่อความกว้างของแผ่นเรียบ = 62.59 $\left[\frac{N}{m}\right]$
- อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยความกว้างของแผ่นเรียบ = 10,463 $\left[\frac{W}{m}\right]$

อุณหภูมิคงที่

ple 6.2

300 K moves at 5 m/sec past a warmed isothermal flat plate. The plate is 1 m long, ½ le and maintained at 400 K. Determine the average convection coefficient and the total force exerted on the plate. Calculate the local convection coefficient and the dynamic and thermal boundary layer thickness at the plate end.

Determine 1) C_D, 2) D_f, 3) h_x 4) δ 5) δ_t



$= \frac{V_\infty . L}{\nu}$

หาสมบัติของอากาศที่ $T_{av} = \frac{T_\infty + T_w}{2} = \frac{300+400}{2} = 350\ [K]$

$350\ [K]$; $\nu = 20.92 \times 10^{-6}\ [\frac{m^2}{s}]$, $\rho = 0.9950\ [\frac{kg}{m^3}]$, $k_f = 30 \times 10^{-3}\ [\frac{W}{m.K}]$

$P_r = 0.7$

$Re_L = \frac{5\ [\frac{m}{s}] . 1\ [m]}{20.92 \times 10^{-6}\ [\frac{m^2}{s}]} = 2.39 \times 10^5 < Re_{cri}$

เป็นการไหลแบบราบเรียบ

- Laminar Flow

1) C_D ; $C_D = \frac{1.328}{\sqrt{Re_L}} = \frac{1.328}{\sqrt{2.39 \times 10^5}} = 0.002716$ — Ans

2) $D_f = \frac{1}{2} C_D \rho V_\infty^2 . A = \frac{1}{2} (0.002716) . (0.995\ [\frac{kg}{m^3}]) . (5\ [\frac{m}{s}])^2 . (1 \times 0.5)\ [m^2]$

$= 0.01689\ kg . \frac{m}{s^2} = 0.01689\ [N]$ — Ans

3) $h_{x=1m} = ?$

- $Nu_{x=1m}$ คือ ค่าตัวเลขนัสเซิลท์เฉพาะที่ ตำแหน่ง ปลายแผ่นเรียบ

จากสมการที่ (6.26) $\Longrightarrow$ $Nu_x = 0.332 P_r^{\frac{1}{3}} Re_x^{\frac{1}{2}}$

เมื่อ $Re_{x=1m} = \frac{V_\infty . x}{\nu} = \frac{5\ [\frac{m}{s}] . 1\ [m]}{20.92 \times 10^{-6}} = 2.39 \times 10^5$

$\therefore Nu_x = 0.332 . (0.7^{\frac{1}{3}}) . (2.39 \times 10^5)^{\frac{1}{2}} = 144.1$

จาก $Nu_x = \dfrac{h_x \cdot x}{k_f}$

$$\therefore h_x = \frac{Nu_x \cdot k_f}{x} = \frac{144.1 \times (30\times10^{-3}\ [\frac{W}{m.K}])}{1\ [m]}$$

$$\therefore h_{x=1m} = 4.323\ \left[\frac{W}{m^2.K}\right] \quad \text{Ans}$$

(4) จาก $\dfrac{\delta}{\delta_t} = P_r^{\frac{1}{3}}$ (จากสมการที่ (6.27))

เมื่อ $\delta_t = \dfrac{5x}{P_r^{\frac{1}{3}}\sqrt{Re_x}}$

$$\therefore \delta_t = \frac{5(1\ [m])}{(0.7)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{2.39\times10^5}} = 0.01152\ [m]$$

(5) $\delta = P_r^{\frac{1}{3}} \cdot \delta_t = (0.7)^{\frac{1}{3}} \cdot 0.01152\ [m]$

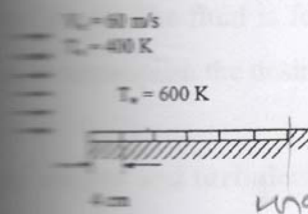
$$= 0.01023\ [m]$$

ความหนาชั้นขอบเขตความเร็ว $(\delta) = 0.01023$ m

ความหนาชั้นขอบเขตความร้อน $(\delta_t) = 0.01152$ m

Example 6.2

Carbon dioxide gas at 400 K moves past a flat plate that consists of 6 strip heaters. The carbon dioxide velocity is 60 m/sec. It is desired to maintain the strip-heater-surface temperature at 600 K. Determine the wattage requirement for each heater to do this. Each heater is 40 mm wide and has an effective heating length (into the page) of 160 mm.



$L = 6 \times (0.04\,m) = 0.24\,m$

$w = 0.16\ m$

$Re_L = \dfrac{V_\infty . L}{\nu}$

เปิดตารางสมบัติของ CO_2 ที่ $T_{av} = \dfrac{400+600}{2} = 500\ [K]$

$= 500\ [K]$, $\nu = 21.8 \times 10^{-6}\ [\frac{m^2}{s}]$, $\rho = 1.0594\ [\frac{kg}{m^3}]$, $k_f = 32.5 \times 10^{-3}\ [\frac{W}{m.K}]$

$Pr = 0.725$

$Re_L = \dfrac{60\,[\frac{m}{s}] . 0.24\,[m]}{21.8 \times 10^{-6}\,[\frac{m^2}{s}]} = 6.605 \times 10^5 > Re_{cri}$

การไหลแบบ turbulent

ใช้สมการ (6.45) ในการหาค่าของ $\overline{Nu_L}$

$\overline{Nu_L} = 0.0359\, Re_L^{4/5} Pr^{1/3} - 830\, Pr^{1/3}$; $0.6 < Pr < 60$, $5 \times 10^5 < Re_L < 5 \times 10^7$

ตรวจสอบเงื่อนไขการใช้สมการว่าใช้ได้หรือไม่

$0.6 < Pr = 0.725 < 60$

$5 \times 10^5 < Re_L = 6.605 \times 10^5 < 5 \times 10^7$

$\overline{Nu_L} = 0.0359\,(6.605 \times 10^5)^{4/5} . (0.725)^{1/3} - 830\,(0.725)^{1/3}$

$= 1,260$

$\overline{h_L} = \dfrac{\overline{Nu_L} . k_f}{L} = \dfrac{1,260 . (32.5 \times 10^{-3}\ [\frac{W}{m.K}])}{0.24\ [m]} = 170.6\ [\frac{W}{m^2.K}]$

$q = \overline{h_L} . A . (T_w - T_\infty)$

$= 170.6\,[\frac{W}{m^2.K}] . (0.24 \times 0.16)\,[m^2] . (600-400)\,[K]$

$= 1,310\ [W]$ —— Ans