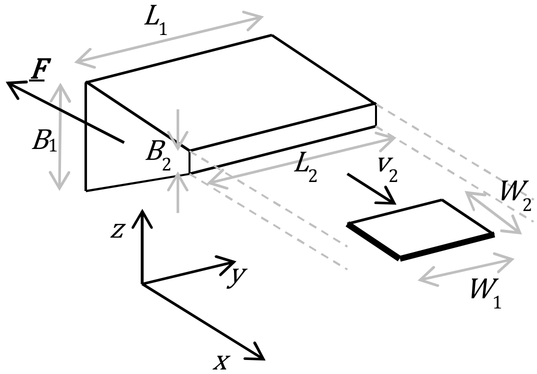
Principi di Ingegneria Chimica
Anno Accademico 2011-2012

Cognome	Nome	Matricola	Firma

Problema 1. Una portata di aria a temperatura T_a viene forzata attraverso la fenditura rappresentata in figura, di sezione di ingresso $B_1 L_1$ e sezione d'uscita $B_2 L_2$, verso una lamina di materiale metallico, di densità ρ, conducibilità k e calore specifico C_P, di dimensioni $W_1 \times W_2 \times \delta$, inizialmente a temperatura T_0. Per mantenere ferma la fenditura viene esercitata una forza $\underline{\boldsymbol{F}}$ in direzione x. Calcolare:



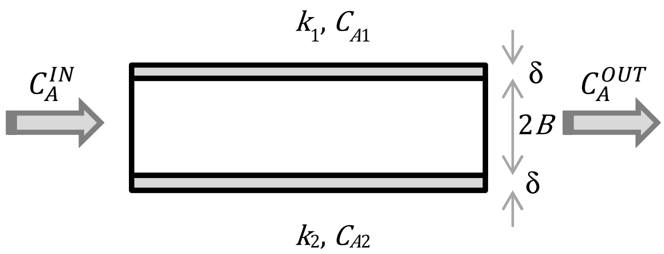
1. La portata di aria inviata nella fenditura e la velocità media di uscita dell'aria, v_2;
2. Il coefficiente di scambio medio di calore, h, tra la lamina e l'aria, riferita alle condizioni iniziali;

Infine, dopo aver chiarito se l'analisi del transitorio di raffreddamento va condotta a parametri concentrati o a parametri distribuiti, calcolare

3. Dopo quanto tempo un punto sull'asse della lamina raggiunge la temperatura T_1.

Dati. $T_a = 20°\text{C}$, $B_1 = 5$ cm, $L_1 = 6$ cm, $B_2 = 1$ cm, $L_2 = 6$ cm, $\rho = 7000$ kg/m³, $k = 2$ W/(m·K), $C_P = 1$ kJ/(kg·K), $W_1 = 3$ cm, $W_2 = 2$ cm, $\delta = 2$ mm, $T_0 = 400°\text{C}$, $\underline{\boldsymbol{F}} = 0.5$ N, $T_1 = 100°\text{C}$.

Problema 2. Due ambienti contenenti due soluzioni liquide di un composto A, a concentrazione C_{A1} e C_{A2}, sono separati da una fenditura, di spessore $2B$ e area di base $W \times W$, nella quale viene inviato lo stesso liquido solvente presente nei due ambienti, di densità ρ, con concentrazione in ingresso pari a C_A^{IN}. Dalla fenditura il liquido fuoriesce ad una concentrazione C_A^{OUT}. Nei due ambienti i coefficienti di scambio di materia per convezione sono rispettivamente k_1 e k_2, lo spessore della parete della fenditura è δ, il composto A diffonde nella parete della fenditura con diffusività D_{AS}, tra la concentrazione in fase liquida e concentrazione nel solido costituente la parete esiste una relazione di equilibrio del tipo $C_A^{SOL} = K C_A^{LIQ}$, il coefficiente di scambio di materia che si realizza nel moto intubato nella fenditura è k_A^{INT}. Considerando nella fenditura che il componente A ha concentrazione media tra entrata e uscita, calcolare:

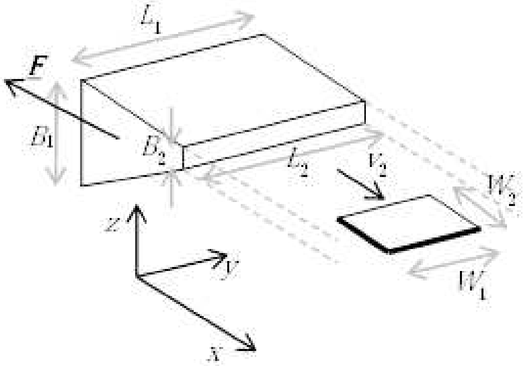


1. I coefficienti globali di scambio tra i due ambienti e la fenditura.
2. Le portate di componente A che migrano tra i due ambienti e la fenditura, W_{A1} e W_{A2}, chiarendone il verso;
3. La portata volumetrica di fluido, $\dot{V}$, che viene inviata nella fenditura.

Dati. $C_{A1} = 10$ mol/L, $C_{A2} = 2$ mol/L, $B = 1$ cm, $W = 0.4$ m, $\rho = 1200$ kg/m³, $C_A^{IN} = 0$ mol/L, $C_A^{OUT} = 6$ mol/L, $k_1 = 0.01$ m/s $k_2 = 0.03$ m/s, $\delta = 2$ mm, $D_{AS} = 10^{-4}$ m²/s, $K = 2$, $k_A^{INT} = 0.08$ m/s.

Istruzioni: compilare innanzitutto con i propri dati la parte alta di questo foglio; per le risposte utilizzare solo questo foglio.

Problema 1. Una portata di aria a temperatura T_a viene forzata attraverso la fenditura rappresentata in figura, di sezione di ingresso $B_1 L_1$ e sezione d'uscita $B_2 L_2$, verso una lamina di materiale metallico, di densità ρ, conducibilità k e calore specifico C_P, di dimensioni $W_1 \times W_2 \times \delta$, inizialmente a temperatura T_0. Per mantenere ferma la fenditura viene esercitata una forza $\boldsymbol{F}$ in direzione x. Calcolare:



1. La portata di aria inviata nella fenditura e la velocità media di uscita dell'aria, v_2;
2. Il coefficiente di scambio medio di calore, h, tra la lamina e l'aria, riferita alle condizioni iniziali;

Infine, dopo aver chiarito se l'analisi del transitorio di raffreddamento va condotta a parametri concentrati o a parametri distribuiti, calcolare

3. Dopo quanto tempo un punto sull'asse della lamina raggiunge la temperatura T_1.

Dati. $T_a = 20°C$, $B_1 = 5$ cm, $L_1 = 6$ cm, $B_2 = 1$ cm, $L_2 = 6$ cm, $\rho = 7000$ kg/m³, $k = 2$ W/(m·K), $C_P = 1$ kJ/(kg·K), $W_1 = 3$ cm, $W_2 = 2$ cm, $\delta = 2$ mm, $T_0 = 400°C$, $\underline{\boldsymbol{F}} = 150$ N, $T_1 = 100°C$.

$T_a := 20\,°C \quad B_1 := 5 \cdot cm \quad L_1 := 6 \cdot cm \quad B_2 := 1 \cdot cm \quad L_2 := 6 \cdot cm \quad \rho := 7000 \cdot \frac{kg}{m^3} \quad k := 2 \cdot \frac{W}{m \cdot K}$

$C_P := 1 \cdot \frac{kJ}{kg \cdot K} \quad W_1 := 3 \cdot cm \quad W_2 := 2 \cdot cm \quad \delta := 2 \cdot mm \quad T_0 := 400\,°C \quad F := 0.5 \cdot N \quad T_1 := 100\,°C$

valore di primo tentativo $\quad v_1 := 1 \cdot \frac{m}{s} \quad v_2 := \frac{v_1 \cdot L_1 \cdot B_1}{L_2 \cdot B_2} = 5 \frac{m}{s}$

Given

bilancio di quantità di moto in direzione x $\quad 0 = \rho_A(T_a) \cdot v_1^2 \cdot L_1 \cdot B_1 - \rho_A(T_a) \cdot v_2^2 \cdot L_2 \cdot B_2 + F$

bilancio di materia $\quad v_2 = \frac{v_1 \cdot L_1 \cdot B_1}{L_2 \cdot B_2}$

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} := \text{Minerr}(v_1, v_2) = \begin{pmatrix} 5.87 \\ 29.351 \end{pmatrix} \frac{m}{s} \qquad m_{pA} := \rho_A(T_a) \cdot v_2 \cdot L_2 \cdot B_2 = 0.021 \frac{kg}{s}$$

$T_f := \frac{T_a + T_0}{2} = 210 \cdot °C \quad \rho_A(T_f) = 0.733 \frac{kg}{m^3} \quad \mu_A(T_f) = 2.616 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad k_A(T_f) = 0.038 \cdot \frac{W}{m \cdot K}$

$N_{Re} := \frac{v_2 \cdot \rho_A(T_f) \cdot W_2}{\mu_A(T_f)} = 1.644 \times 10^4 \qquad N_{Pr.A}(T_f) = 0.699$

Il moto è laminare (N.Re < 5x10⁵), quindi $\quad j_H := 2 \cdot 0.332 \cdot N_{Re}^{-0.5} = 5.179 \times 10^{-3}$

$N_{Nu} := j_H \cdot N_{Re}^{1} \cdot N_{Pr.A}(T_f)^{0.33} = 75.635$

$$h := \frac{N_{Nu} \cdot k_A(T_f)}{W_2} = 145.301 \cdot \frac{W}{m^2 K}$$

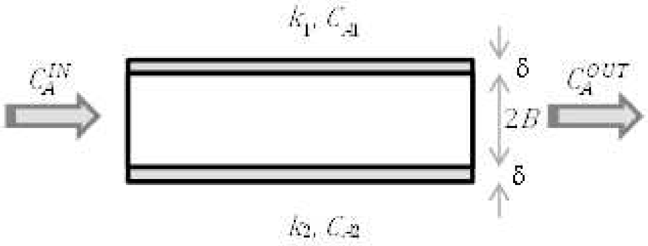
$N_{Bi} := \dfrac{\dfrac{h}{k}}{\left(\dfrac{\delta}{2}\right)} = 0.073$ Parametri concentrati

bilancio di energia macroscopico sulla lastra $\rho \cdot V \cdot C_P \cdot \frac{d}{dt} T(t) = -h \cdot S \cdot (T(t) - T_a)$ $T(0) = T_0$

$\frac{d}{dt} T(t) = \frac{-h \cdot S}{\rho \cdot V \cdot C_P} \cdot (T(t) - T_a)$ $\tau := \frac{\rho \cdot \delta \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot C_P}{h \cdot 2 \cdot W_1 \cdot W_2} = 48.176\,s$ $\frac{T(t) - T_a}{T_0 - T_a} = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$ $t_1 := -\tau \cdot \ln\left(\frac{T_1 - T_a}{T_0 - T_a}\right) = 75.065\,s$

$t_1 = 1.251 \cdot min$

Problema 2. Due ambienti contenenti due soluzioni liquide di un composto A, a concentrazione C_{A1} e C_{A2}, sono separati da una fenditura, di spessore $2B$ e larghezza W, nella quale viene inviato lo stesso liquido solvente presente nei due ambienti, di densità ρ, con concentrazione in ingresso pari a C_A^{IN}. Dalla fenditura il liquido fuoriesce ad una concentrazione C_A^{OUT}. Nei due ambienti i coefficienti di scambio di materia per convezione sono rispettivamente k_1 e k_2, lo spessore della parete della fenditura è δ, il composto A diffonde nella parete della fenditura con diffusività D_{AS}, tra la concentrazione in fase liquida e concentrazione nel solido costituente la parete esiste una relazione di equilibrio del tipo $C_A^{SOL} = KC_A^{LIQ}$, il coefficiente di scambio di materia che si realizza nel moto intubato nella fenditura è k_A^{INT}. Considerando nella fenditura che il componente A ha concentrazione media tra entrata e uscita, calcolare:



1. I coefficienti globali di scambio tra i due ambienti e la fenditura.
2. Le portate di componente A che migrano tra i due ambienti e la fenditura, W_{A1} e W_{A2}, chiarendone il verso;
3. La portata volumetrica di fluido, $\dot{V}$, che viene inviata nella fenditura.

Dati. $C_{A1} = 10$ mol/L, $C_{A2} = 2$ mol/L, $B = 1$ cm, $W = 0.4$ m, $\rho = 1200$ kg/m³, $C_A^{IN} = 0$ mol/L, $C_A^{OUT} = 6$ mol/L, $k_1 = 0.01$ m/s $k_2 = 0.03$ m/s, $\delta = 2$ mm, $D_{AS} = 10^{-4}$ m²/s, $K = 2$, $k_A^{INT} = 0.08$ m/s.

$C_{A1} := 10 \cdot \frac{mol}{L}$ $C_{A2} := 2 \cdot \frac{mol}{L}$ $B := 1 \cdot cm$ $W := 0.4 \cdot m$ $\rho := 1200 \cdot \frac{kg}{m^3}$ $C_{A.in} := 0 \cdot \frac{mol}{L}$ $C_{A.out} := 6 \cdot \frac{mol}{L}$

$k_1 := 0.01 \cdot \frac{m}{s}$ $k_2 := 0.03 \cdot \frac{m}{s}$ $\delta := 2 \cdot mm$ $D_{AS} := 10^{-4} \cdot \frac{m^2}{s}$ $K := 2$ $k_{A.int} := 0.08 \cdot \frac{m}{s}$

$K_1 := \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{K \cdot \frac{D_{AS}}{\delta}} + \frac{1}{k_{A.int}}\right)^{-1} = 8.163 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$ $K_2 := \left(\frac{1}{k_2} + \frac{1}{K \cdot \frac{D_{AS}}{\delta}} + \frac{1}{k_{A.int}}\right)^{-1} = 0.018 \frac{m}{s}$

$C_{A.av} := \frac{C_{A.out} + C_{A.in}}{2} = 3 \cdot \frac{mol}{L}$ $W_{A1} := W^2 \cdot K_1 \cdot (C_{A1} - C_{A.av}) = 9.143 \frac{mol}{s}$ entrante nella fenditura

$W_{A2} := W^2 \cdot K_2 \cdot (C_{A2} - C_{A.av}) = -2.866 \frac{mol}{s}$ descritta come entrante nella fenditura, in realtà uscente

Bilancio di A sulla fenditura IN = OUT $W_{A1} + W_{A2} + V_p \cdot C_{A.IN} = V_p \cdot C_{A.out}$

$V_p := \frac{W_{A1} + W_{A2}}{(C_{A.out} - C_{A.in})} = 1.046 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$