UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MECÂNICA

Correcção do 2º Teste de Transmissão de Calor e Massa - 2024

Data: 7/06/2024 **Duração:** 120 minutos

Problema 1 (5 valores)

Dois cilindros coaxiais de diâmetros D_1=0,25 m e D_2=0,50 m e emissividades ε_1 = 0,8 e ε_2 = 0,4 são mantidos a temperaturas uniformes de T_1=900 ºC e T_2=400 ºC, respectivamente.

Determine a taxa líquida de transferência de calor de radiação do cilindro interno para o externo, por unidade de área dos cilindros.

Assume-se: 1 O processo é em regime estacionário 2 As superfícies são opacas, difusas e cinzas. 3 A transferência de calor por convecção não é considerada.

Propriedades: As emissividades ε dos cilindros é 0,8 e 0,4.

Análise: A taxa líquida de transferência de calor por radiação entre as duas superfícies por unidade de área das placas é determinada directamente de:

Dados:

t_1=900 [C]

t_2=400 [C]

ε_1=0,8

ε_2=0,4

D_1=0,25 [m]

D_2=0,50 [m]

σ=5,67x10^8 W/m^2-K^4

$$\frac{\dot{Q}_{12}}{A_s}=\frac{\sigma(T_1^4-T_2^4)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1}+\dfrac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}\left(\dfrac{r_1}{r_2}\right)}=\frac{(5,67\times10^{-8}\ \text{W/m}^2\cdot\text{K}^4)[(1173,15\ \text{K})^4-(673,15\ \text{K})^4]}{\dfrac{1}{0,8}+\dfrac{1}{0,4}\left(\dfrac{0,25\ \text{m}}{0,50\ \text{m}}\right)}=\mathbf{47878\ W/m^2}$$

Problema 2 (5 valores)

Na terça-feira, dia 11 de Junho de 2024, as 10:00 a pressão atmosférica será de 1,022 atm, a parte inferior de uma panela hexagonal de (cobre polida C_{cr}=0,149) de 0,2 m de aresta será mantida a temperatura de 125 ºC, por um aquecedor eléctrico. Calcule a potência requerida para ferver água nesta panela e a taxa de evaporação.

Assume-se: 1 Regime permanente; 2 As perdas de calor da resistência são desprezíveis.

Propriedades: As propriedades da água à pressão de saturação de 2 atm retiram-se de tabelas.

$\rho_l = 958,2 \text{ kg/m}^3$ $\qquad h_{fg} = 2256 \times 10^3 \text{ J/kg}$

$\rho_v = 0,602 \text{ kg/m}^3$ $\qquad \mu_l = 0,2812 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

$\sigma = 0,05887 \text{ N/m}$ $\qquad \text{C}_{pl} = 4217 \text{ J/kg} \cdot °\text{C}$

$\text{Pr}_l = 1,783$

(a) A potência requerida para ferver água nesta panela

$$\dot{q}_{\text{nucleada}} = \mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left(\frac{C_{p,l}(T_s - T_{\text{sat}})}{C_{sf} h_{fg} \text{ Pr}_l^n} \right)^3$$

$$= 0,0002812 \text{ [kg/m-s]} \cdot 2,256 \times 10^6 \text{ [J/kg]} \left[\frac{9,81[m/s^2](958,2[kg/m^3] - 0,6018[kg/m^3])}{0,05887 \text{ [N/m]}} \right]^{1/2}$$

$$\times \left(\frac{4217 \text{ [J/kgK]}(125 \text{ [C]} - 100,2 \text{ [C]})}{0,013 \cdot 2,256 \times 10^6 \text{ [J/kg]} \cdot 1,783} \right)^3$$

$$\rightarrow q_s = \mathbf{2,024 \times 10^6 \text{ [W/m}^2\text{]}}$$

A área da superfície do fundo da panela é

$$A_s = 3 \times L^2 \frac{\sqrt{3}}{2} = 3 \times (0,2 \text{ m})^2 \frac{\sqrt{3}}{2} = \mathbf{0,1039 \text{ m}^2}$$

Então a potência será:

$$Q = q_s \times A = 2,024 \times 10^6 [W/m^2] \times 0,1039 [m^2] = \mathbf{210290 \text{ [W]}}$$

(b) a taxa de evaporação

$$\dot{m}_{\text{evaporação}} = \frac{\dot{Q}}{h_{fg}} = \frac{210290 \text{ J/s}}{2256 \times 10^3 \text{ J/kg}} = \mathbf{0,09321 \text{ [kg/s]}}$$

Problema 3 (5 valores)

Determine o comprimento necessário para que um tubo horizontal de secção rectangular de 6 cm x 4 cm que tenha a sua superfície mantida a 80ºC mediante arrefecimento do lado interno, condense 0,03 kg/s de vapor saturado a 140 °C.

Assume-se: 1 Condições de funcionamento em regime permanente. O tubo 2 é isotérmico.
Propriedades: As propriedades da água a temperatura de saturação de 130 ºC são $h_{fg} = 2,314 \times 10^6$ J/kg e ρ_v=0,4234 kg/m³. As propriedades da água no estado líquido, à temperatura da película (140+80)/2 = 110 ºC são:

$\rho_l = 951 \left[\text{kg/m}^3\right]$

$\mu_l = 0,2546 \times 10^{-3} \left[\text{kg/m} \cdot \text{s}\right]$

$\nu_l = \mu_l / \rho_l = 0,2679 \times 10^{-6} \left[\text{m}^2/\text{s}\right]$

$\text{C}_{pl} = 4232 \ \left[\text{J/kg} \cdot °\text{C}\right]$

$k_l = 0,668 \ \left[\text{W/m} \cdot °\text{C}\right]$

Análise O calor latente modificado é:

$$h^*_{fg} = h_{fg} + 0,68 C_{pl}(T_{\text{sat}} - T_s)$$

$$= 2145 \times 10^3 \ \text{J/kg} + 0,68 \times 4232 \ \text{J/kg} \cdot °\text{C}(140 - 80)°\text{C} = \mathbf{2317 \times 10^3 \ J/kg}$$

Como o tubo está na horizontal, o coeficiente de transferência de calor de condensação é determinado por:

$$D_h = \frac{4 \cdot B \cdot D}{(B + D)} = \frac{4 \cdot 0,04 \ [\text{m}] \cdot 0,06 \ [\text{m}]}{(0,04 \ [\text{m}] + 0,06 \ [\text{m}])} = \mathbf{0,048 \ m}$$

$$h = h_{\text{horizontal}} = 0,729 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) h^*_{fg} k_l^3}{\mu_l (T_{\text{sat}} - T_s) D_h}\right]^{1/4}$$

$$= 0,729 \left[\frac{(9,8 \ \text{m/s}^2)(951 \ \text{kg/m}^3)(951 - 0,826 \ \text{kg/m}^3)(2317 \times 10^3 \ \text{J/kg})(0,6677 \ \text{W/m} \cdot °\text{C})^3}{(0,268 \times 10^{-3} \ \text{kg/m} \cdot \text{s})(140 - 80)°\text{C}(0,048 \ \text{m})}\right]^{1/4}$$

$$= \mathbf{6946} \left[\mathbf{W/m^2 °C}\right]$$

A taxa à qual as gotas de condensado formam-se na parte exterior do tubo:

$$\dot{m}_{\text{condensação}} = \frac{\dot{Q}}{h^*_{fg}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{condensação}} \cdot h^*_{fg} = 0,03 \text{kg/s} \cdot 2317 \times 10^3 \ \text{J/kg} = \mathbf{69517} \left[\mathbf{J/s}\right]$$

O comprimento do tubo determina-se de:

$$\dot{Q} = h A_s (T_{\text{sat}} - T_s) = h(2BL)(T_{\text{sat}} - T_s)$$

$$\dot{Q} = h(2BDL)(T_{\text{sat}} - T_s)$$

$$L = \frac{\dot{Q}}{h(2BD)(T_{\text{sat}} - T_s)} = \frac{69517 \ \text{W}}{(6964 \ \text{W/m}^2 \cdot °\text{C})2(0,06 \ \text{m} \cdot 0,04 \ \text{m})(140 - 80)} = \mathbf{0,832} \left[\mathbf{m}\right]$$

Problema 4 (5 valores)

Deve-se projectar um termopermutador de calor de tubo e carcaça para aquecer 5,0 kg/s de água da temperatura de 25º C até a temperatura de 75 ºC. O aquecimento consegue-se por meio de óleo de motor quente que se encontra disponível a temperatura de 180 ºC e que passa pelo lado da carcaça do termopermutador. O coeficiente médio de convecção do óleo na parte exterior dos tubos é de 1250 W/m².K .Cem tubos que perfazem 10 passes, passam água através da carcaça. Cada tubo delgado tem o diâmetro de D=20 mm. Se o óleo sair do trocador de calor sai a temperatura de 80 ºC, qual é o seu fluxo e qual o comprimento necessário dos tubos?

Dados:
$\dot{m}_{ag}$ =5,0 [kg/s]
$T_{ag,in}$ =25 [ºC]
$T_{ag,out}$ = 75 [ºC]
h_{oleo} = 1250 [W/m².K]
N_{tubos} = 50
N_{passes} = 10
D_{tubo} = 20x10⁻³ [m]
$T_{ol,in}$= 180 [ºC]
$T_{ol,out}$= 80 [ºC]
P_1=1x10³ [Pa]
$c_{p,ol}$= 2351 [kJ/kg.K]

$$T_{ol,med} = \frac{T_{ol,in} + T_{ol,out}}{2}$$

$$T_{ol,med} = \frac{180+80}{2} = 120\,^oC$$

Propriedades do óleo à temperatura média

$$c_{p,ol} = 2351\,kJ/kgK$$

$$T_{ol,med} = \frac{T_{ag,in} + T_{ag,out}}{2}$$

$$T_{ol,med} = \frac{25+75}{2} = 50\,^oC$$

Propriedades da água a temperatura média

$$\mu_{ag} = 2172[W/m^2 \cdot K]$$

$$k_{ag} = 0{,}6308\ \text{[W/m-K]}$$

$$\Pr_{ag} = 3{,}625$$

$$Q = 5 \cdot 4179 \cdot (75-25) = \mathbf{1{,}044 \times 10^6\ [W]}$$

$$Q = \dot{m}_{ol} \cdot c_{p,ol} \cdot \left(T_{ol,in} - T_{ol,out}\right)$$

$$\dot{m}_{ol} = \frac{Q}{c_{p,ol} \cdot \left(T_{ol,in} - T_{ol,out}\right)}$$

$$\dot{m}_{ol} = \frac{1{,}044 \times 10^6}{2351 \cdot (180-80)} = \mathbf{4{,}444\ [kg/s]}$$

$$\mathrm{Re}_D = \frac{4 \cdot \dot{m}_{ag}}{\pi \cdot D_{tubo} \cdot \mu_{ag} \cdot N_{tubos}}$$

$$\mathrm{Re}_D = \frac{4 \cdot 5}{\pi \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}0005472 \cdot 50} = \mathbf{11634}$$

$$Nu_D = 0,023 \cdot \mathrm{Re}_D^{\left(\frac{4}{5}\right)} \cdot \mathrm{Pr}^{0,4}$$

$$Nu_D = 0,023 \cdot 11634^{\left(\frac{4}{5}\right)} \cdot 3,625^{0,4} = \mathbf{68,87}$$

$$h_{ag} = \frac{k_{ag}}{D_{tubo}} Nu_D$$

$$h_{ag} = \frac{0,6308}{0,02} 68,87 = \mathbf{2172\ [W/m^2 \cdot K]}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{oleo}} + \frac{1}{h_{ag}}}$$

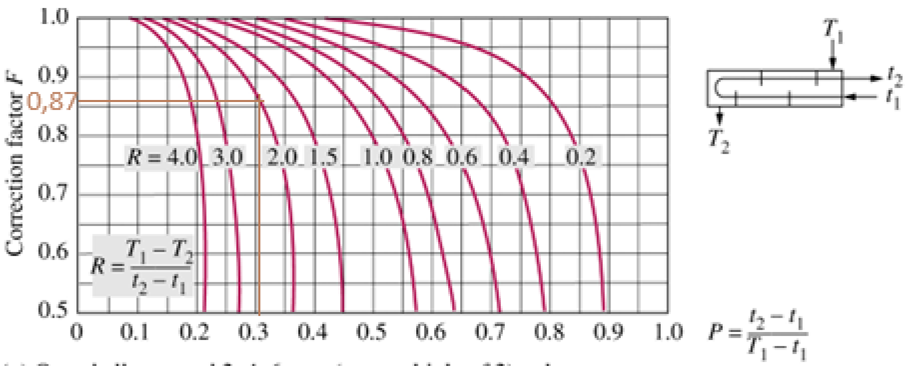
$$U = \frac{1}{\frac{1}{1250} + \frac{1}{2172}} = \mathbf{793,4\ [W/m^2 \cdot K]}$$

$$R = \frac{T_{ol,in} - T_{ol,out}}{T_{ag,out} - T_{ag,in}}$$

$$R = \frac{180 - 80}{75 - 25} = \mathbf{2}$$

$$P = \frac{T_{ag,out} - T_{ag,in}}{T_{ol,in} - T_{ag,in}}$$

$$P = \frac{75 - 25}{180 - 25} = \mathbf{0,3226}$$



(a) One-shell pass and 2, 4, 6, etc. (any multiple of 2), tube passes

F≈0,87

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\left(T_{ol,in} - T_{ag,out}\right) - \left(T_{ol,out} - T_{ag,in}\right)}{\ln\left[\frac{T_{ol,in} - T_{ag,out}}{T_{ol,out} - T_{ag,in}}\right]}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(180 - 75) - (80 - 25)}{\ln\left[\frac{180 - 75}{80 - 25}\right]} = \mathbf{77,32\ [^{o}C]}$$

$$Q = L \cdot U \cdot N_{tubos} \cdot \pi \cdot D_{tubo} \cdot F \cdot \Delta T_{\ln}$$

$$L = \frac{Q}{U \cdot N_{tubos} \cdot \pi \cdot D_{tubo} \cdot F \cdot \Delta T_{\ln}}$$

$$L = \frac{1,044 \times 10^6}{793,4 \cdot 50 \cdot \pi \cdot 0,02 \cdot 0,87 \cdot 77,32} = \mathbf{6,231\,[m]}$$

Bom trabalho!
Prof. Doutor Engº Jorge Nhambiu
(Professor Associado)