



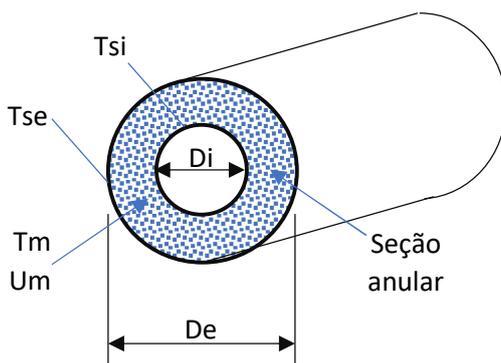
OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

AULAS 07 e 08 - CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR

COEFICIENTE DE PELÍCULA NA SEÇÃO ANULAR DE UM TROCADOR TUBULAR

Seção anular: espaço entre os tubos interno e externo, onde escoam um dos fluidos no trocador tubular



$$Dh = \frac{4 \cdot Atr}{Pm}$$

Dh ... diâmetro hidráulico

D_i ... diâmetro interno da seção anular (diâmetro externo do tubo interno)

D_e ... diâmetro externo da seção anular (diâmetro interno do tubo externo)

T_m ... temperatura média do fluido no escoamento na seção anular

U_m ... velocidade média do fluido no escoamento na seção anular

T_{si} ... temperatura na superfície interna da seção anular (superfície externa do tubo interno)

T_{se} ... temperatura na superfície externa da seção anular (superfície interna do tubo externo)

P_m ... Perímetro molhado (perímetro da seção dos tubos em contato com o líquido (interno e externo))

A_{tr} ... Área da seção transversal ao escoamento na seção anular

Equações:

$$Atr = \frac{\pi}{4} \cdot De^2 - \frac{\pi}{4} \cdot Di^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (De^2 - Di^2)$$

$$Pm = \pi \cdot De + \pi \cdot Di = \pi \cdot (De + Di)$$

$$Dh = \frac{4 \cdot (\frac{\pi}{4}) \cdot (De^2 - Di^2)}{\pi \cdot (De + Di)} \quad \therefore \boxed{Dh = De - Di}$$

Número de Nusselt para escoamento na parede interna: $Nu_i = \frac{h_i \cdot Dh}{k}$

Número de Nusselt para escoamento na parede externa: $Nu_e = \frac{h_e \cdot Dh}{k}$

hi ... coeficiente de película na troca de calor na parede interna

he ... coeficiente de película na troca de calor na parede externa

k ... condutividade térmica do fluido escoando

Para o escoamento turbulento é válida a relação de Dittus-Boelter:

$$Nu = \frac{h \cdot Dh}{k} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

n = 0,4 ... fluido aquecendo

n = 0,3 ... fluido esfriando

Nu ... Número de Nusselt

Re ... Número de Reynolds

Pr ... Número de Prandtl

Tabela 1 - Números de Nusselt para escoamento laminar plenamente desenvolvido em regiões anulares circulares com uma superfície isolada e a outra a temperatura constante:

| <u>Di/De</u> | <u>Nu_i</u> | <u>Nu_e</u> |
|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,00 | --- | 3,66 |
| 0,05 | 17,46 | 4,06 |
| 0,10 | 11,56 | 4,11 |
| 0,25 | 7,37 | 4,23 |
| 0,50 | 5,74 | 4,43 |
| ≈ 1,00 | 4,86 | 4,86 |

Nui ... Número de Nusselt na superfície interna da seção anular (superfície externa do tubo interno)

Nue ... Número de Nusselt na superfície externa da seção anular (superfície interna do tubo externo)

EXERCÍCIOS

12) Um trocador de calor bitubular (tubos concêntricos), com configuração de escoamento contracorrente, é empregado para resfriar óleo lubrificante de um motor de turbina a gás industrial.

A vazão mássica de água através do tubo interno ($D_i = 25 \text{ mm}$) é de $0,2 \text{ kg/s}$, enquanto a vazão do óleo através da região anular ($D_e = 45 \text{ mm}$) é de $0,1 \text{ kg/s}$.

O óleo ($C_p = 2131 \text{ J/kg.K}$, $\mu = 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ N.s/m}^2$, $k = 0,138 \text{ W/m.K}$) entra a 100°C e a água ($c_p = 4178 \text{ J/kg.K}$, $\mu = 725 \cdot 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$, $k = 0,625 \text{ W/m.K}$) entra a 30°C .

Qual deve ser o comprimento do trocador de calor se a temperatura de saída do óleo deve ser de 60°C ?

13) Precisa-se projetar um trocador de calor de tubos concêntricos destinado a resfriar um produto orgânico ($C_p = 1,88 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$, $k = 0,15 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, $\rho = 795 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 0,00038 \text{ kg/m.s}$) de 82°C para 38°C , que circula no tubo interno, utilizando água fria entrando na seção anular em contracorrente a 21°C .

Deverão ser empregados tubos de aço, sendo o tubo interno com diâmetro interno 30 mm e diâmetro externo 32 mm e o tubo externo com diâmetro interno 50 mm e diâmetro externo 53 mm .

Considere para a água as propriedades médias: $C_p = 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$, $k = 0,625 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 0,000725 \text{ kg/m.s}$.

Se a vazão do produto orgânico for 3250 kg/h e a de água for 4680 kg/h , qual deve ser a área de troca de calor do trocador de calor?

14) Um trocador de calor tubular deve ser construído para aquecer 4500 kg/h de benzeno, de 27°C até 49°C , empregando tolueno como fluido de aquecimento, que deverá ser resfriado de 71°C até 38°C .

O tolueno apresenta as seguintes propriedades: $C_p = 1842 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$, $k = 0,147 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ e $\mu = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$.

O benzeno, que escoará no tubo interno, apresenta as seguintes propriedades: $C_p = 1779 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$, $k = 0,157 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ e $\mu = 5 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$.

O tubo interno deverá ter diâmetro interno 36 mm e diâmetro externo 40 mm e o tubo externo deverá ter diâmetro interno 52 mm e diâmetro externo 56 mm .

A resistência da parede é desprezível.

Utilizando o método DTML e considerando escoamento contracorrente, determine a carga térmica do trocador de calor, a área de troca de calor e o comprimento dos tubos.