

CALCOLO COEFFICIENTE SCAMBIO TERMICO GLOBALE TUBATURE PULITE E SPORCHE

ESEMPIO 20.6 - COEFFICIENTE DI SCAMBIO PER UN TUBO CON DEPOSITI

Un condensatore di vapore a fascio tubiero è formato da tubi di bronzo con diametro interno $d_1 = 40$ mm e spessore di parete pari a 4 mm. Il fluido di raffreddamento è costituito da acqua di mare con temperatura di 10 °C. Il valor medio del coefficiente di convezione all'interno dei tubi dove scorre l'acqua di raffreddamento è $h' = 8000$ W/(m² · K), mentre all'esterno dei tubi è $h'' = 50.000$ W/(m² · K). Determinare il coefficiente globale di scambio u_1 , relativo alla superficie interna del tubo, nelle due condizioni di scambiatore

- nuovo senza incrostazioni;
- con depositi su ambo i lati dei tubi.

SOLUZIONE

- a) Il coefficiente globale di scambio u è dato dalla 20-21:

$$u = \frac{1}{R_{tot} A}$$

La resistenza termica totale R_{tot} è data dalla 20-19, dove:

- per la 20-6 le resistenze convettive valgono $R' = 1/(h' A_1)$ ed $R'' = 1/(h'' A_2)$;
- al posto delle resistenze degli strati R_{strato} , poniamo, per la 20-20, quelle dei depositi all'interno $R_{d1} = \mathcal{F}/A_1$ e all'esterno del tubo $R_{d2} = \mathcal{F}/A_2$;
- esprimiamo la resistenza della parete del tubo con la 20-23:

$$R = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k}$$

L'area A della superficie di scambio, a cui facciamo riferimento, è quella della parete interna del tubo A_1 , in quanto dobbiamo determinare il valore di u . Abbiamo allora:

$$u_1 = \frac{1}{\frac{1}{8000 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}} + 0 + \frac{\ln(24/20)}{52 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}} \cdot 0,02 \text{ m} + 0 + \frac{20 \text{ mm}}{50.000 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \times 24 \text{ mm}}}$$

$$= \frac{1}{(0,000125 + 0,0000701 + 0,0000167) \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}} =$$

$$= \frac{1}{0,0002118 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}} = 4721 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

- b) Nel caso dello scambiatore vecchio occorre aggiungere al denominatore della frazione precedente i valori delle due resistenze dei depositi:

$$u_1 = \frac{1}{\left(0,0002118 + 0,0001 + 0,00009 \frac{20 \text{ mm}}{24 \text{ mm}}\right) \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}}$$

$$= 2585 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$u_1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{h' A_1} + \frac{\mathcal{F}_1}{A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k} + \frac{\mathcal{F}_2}{A_2} + \frac{1}{h'' A_2}\right) A_1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{h'} + \mathcal{F}_1 + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k} A_1 + \frac{\mathcal{F}_2 A_1}{A_2} + \frac{A_1}{h'' A_2}}$$

Sostituiamo in questa espressione l'area della superficie interna del tubo, di lunghezza L , $A_1 = 2\pi r_1 L$ e quella della superficie esterna $A_2 = 2\pi r_2 L$:

$$u_1 = \frac{1}{\frac{1}{h'} + \mathcal{F}_1 + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k} 2\pi r_1 L + \mathcal{F}_2 \frac{2\pi r_1 L}{2\pi r_2 L} + \frac{2\pi r_1 L}{h'' 2\pi r_2 L}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{h'} + \mathcal{F}_1 + \frac{\ln(r_2/r_1)}{k} r_1 + \mathcal{F}_2 \frac{r_1}{r_2} + \frac{r_1}{h'' r_2}}$$

Le costanti che compaiono in questa espressione sono:

- i valori assegnati dei coefficienti di convezione lato acqua e lato vapore $h' = 8.000$ W/(m² · K), $h'' = 50.000$ W/(m² · K);
- la conduttività termica del bronzo $k = 52$ W/(m · K) dalla Tabella 20.1;
- i fattori di sporco $\mathcal{F}_1 = 0,0001$ (m² · K)/W e $\mathcal{F}_2 = 0,00009$ (m² · K)/W, rispettivamente sul lato dell'acqua di raffreddamento all'interno e sul lato del vapore condensante all'esterno del tubo (Tabella 20.4).

Sono inoltre noti il raggio interno $r_1 = 20$ mm = 0,02 m e il raggio esterno che, essendo lo spessore del tubo 4 mm, è $r_2 = (20 + 4)$ mm = 24 mm = 0,024 m.

Nel caso di scambiatore nuovo, non si sono ancora formate le incrostazioni e i fattori di sporco sono nulli ($\mathcal{F}_1 = \mathcal{F}_2 = 0$).