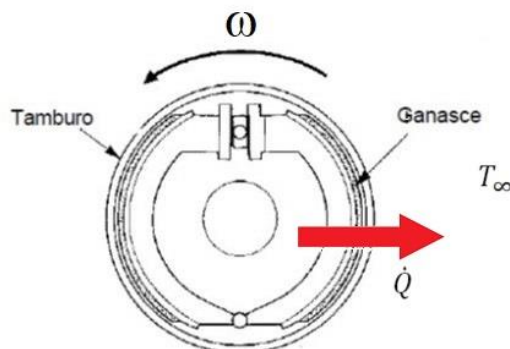


Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale

Prova scritta di Fisica Tecnica – Trasmissione del calore – 6.2.2026

Esercizio

In un freno a tamburo come in figura, il tamburo esterno di acciaio (raggio esterno $r_2 = 10$ cm, spessore $s = 3$ mm, profondità $L = 5$ cm, conduttività termica $\lambda_{acc} = 20$ W/(m · K)) ruota alla velocità angolare costante $\omega = 100$ rad/s:



Quando il freno viene azionato, le ganasce interne dissipano per attrito una potenza termica $\dot{Q}$ che viene trasmessa completamente al tamburo che, a sua volta, scambia per convezione solo attraverso la superficie cilindrica esterna verso l'aria circostante ($T_\infty = 20$ °C, conduttività termica $\lambda_{aria} = 0.025$ W/(m · K), viscosità cinematica $\nu = 1.5 \cdot 10^{-5}$ m²/s, numero di Prandtl $Pr = 0.7$).

Tema	$\dot{Q}$ [W]
A	50
B	60

Nell'ipotesi di regime stazionario, si calcoli:

- la temperatura della superficie esterna del tamburo (superficie che scambia per convezione)
- la temperatura della superficie interna del tamburo (superficie a contatto con le ganasce)

utilizzando la seguente correlazione (convezione forzata) per la stima del coefficiente convettivo h :

$$Nu_D = 0.332 \cdot Re_D^{1/2} Pr^{1/3}$$

dove D è il diametro esterno del tamburo, mentre la velocità da considerare per il calcolo di Re_D è la velocità tangenziale del tamburo $U = \omega r_2$.

Infine, assumendo fissata la temperatura della superficie esterna del tamburo calcolata al punto 1, si calcoli:

- la potenza $\dot{Q}_3$ scambiata per convezione naturale sulla superficie esterna del tamburo, considerandola come ferma (non rotante)

utilizzando la seguente correlazione (convezione naturale) per la stima del coefficiente convettivo h_3 :

$$Nu_D = 0.125 \cdot Ra_D^{1/3}$$

dove, per il calcolo del numero di Rayleigh Ra_D , considerare un'accelerazione di gravità $g = 9.81$ m/s² ed un coefficiente di espansione volumetrica $\beta = 2 \cdot 10^{-3}$ K⁻¹.

Teoria

- Legge di Fourier per la conduzione e legge di Newton per la convezione.
- Uso delle precedenti due leggi nella definizione della condizione al contorno del 3° tipo (convettiva) per l'equazione del calore, ossia il bilancio di primo principio sulla superficie di un solido che scambia calore per convezione sulla superficie.

Soluzione

		A	B
Velocità tangenziale	$U = \omega r_2$	10 m/s	=
Numero di Reynolds	$Re_D = UD/\nu$	$1.33 \cdot 10^5$	=
Numero di Nusselt	$Nu_D = \text{correlaz}$	107.6	=
Coefficiente convettivo	$h = Nu_D \lambda_{aria}/D$	13.5 W/m ² K	=
1. Temperatura esterna	$\dot{Q} = hA(T_e - T_\infty)$	$T_e = 138.3 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_e = 161.9 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Temperatura interna	$R = \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right)/(2\pi\lambda_{acc}L)$	$T_i = 138.5 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_i = 162.2 \text{ }^\circ\text{C}$
Numero di Grashof	$Gr_D = g\beta(T_e - T_\infty)D^3/\nu^2$	$8.25 \cdot 10^7$	$9.90 \cdot 10^7$
Numero di Rayleigh	$Ra_D = Gr_D Pr$	$5.78 \cdot 10^7$	$6.93 \cdot 10^7$
Numero di Nusselt	$Nu_D = \text{correlaz}$	48.3	51.3
Coefficiente convettivo	$h_3 = Nu_D \lambda_{aria}/D$	6.04 W/m ² K	6.42 W/m ² K
3. Potenza termica	$\dot{Q}_3 = h_3 A(T_e - T_\infty)$	22.4 W	28.6 W