

Corso di Fisica Tecnica per Ingegneria Meccanica

Prova del 2 febbraio 2011

COGNOME

NOME

MATRICOLA

FIRMA

Esercizio 1

Una turbina con rendimento isoentropico $\eta_{isT} = 0.8$ elabora una portata in ingresso $V^\circ = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ di una miscela di gas ideali costituita dal 30 % in massa di argon ($MM_{Ar} = 40 \text{ kg/kmol}$) e dal 70 % in massa di elio ($MM_{He} = 4 \text{ kg/kmol}$). La pressione totale e la temperatura di ingresso sono rispettivamente $P_1 = 70 \text{ bar}$ e $T_1 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ e il rapporto di espansione è 50. Determinare la potenza della macchina in condizioni stazionarie.

Esercizio 2

Una massa $M_{Fe} = 20 \text{ kg}$ di ferro ($c_p = 0.45 \text{ kJ/kgK}$) inizialmente a $T_{Fe1} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$, cede calore a pressione costante a un ciclo termodinamico diretto (motore) costituito da due adiabatiche reversibili e da due isoterme. A sua volta tale ciclo cede calore a una sorgente fredda (pozzo) a $T_C = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Sapendo che il calore assorbito dal ciclo è $Q_H = 3 \text{ MJ}$ e che il suo rendimento di primo principio η_I è pari a 0.2, determinare l'irreversibilità del processo, l'energia utilizzabile non utilizzata e il rendimento di secondo principio.

Esercizio 3

Una struttura cilindrica piena è costituita da un tondino d'acciaio AISI 304 ($\lambda_{FeC} = 14 \text{ W/mK}$), avente diametro $D = 15 \text{ mm}$ e lunghezza $L_{FeC} = 67 \text{ mm}$, su una base del quale è imposta la temperatura $T_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$; sull'altra base è posto a contatto perfetto un tondino di PVC ($\lambda_{PVC} = 0.16 \text{ W/mK}$), diametro $D = 15 \text{ mm}$, lunghezza $L_{PVC} = 7 \text{ mm}$. La superficie laterale dell'intera struttura è resa adiabatica e la base esterna del tondino in PVC è lambita da aria a $T_{oo} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ con coefficiente convettivo $h = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ipotizzando di essere in condizioni stazionarie, determinare la potenza termica che fluisce attraverso il sistema e verificare la compatibilità del PVC sapendo che per esso è possibile raggiungere una temperatura operativa massima $T_{MAX} = 90^\circ\text{C}$.

Soluzioni

Esercizio 1

La turbomacchina può essere ipotizzata adiabatica. Partendo quindi dal caso reversibile, si ha (in condizioni stazionarie e trascurando le variazioni di energia cinetica e potenziale):

$$l = \Delta h = c_{p,m} \Delta T \text{ dato che la miscela è approssimabile a miscela ideale di gas perfetti.}$$

$$c_{p,m} = 5/2 R_m^* \text{ dato che la miscela è costituita da una coppia di gas monoatomici.}$$

$$R_m^* = \Sigma (M_i R_i^*) / \Sigma M_i$$

$$\text{La potenza nel caso ideale è quindi } L^{\circ} = V^{\circ} \rho_m \Delta h, \text{ con } \rho_m = P_i / (R_m^* T_i)$$

$$\text{Nel caso reale } L^{\circ} = L^{\circ} \eta_{isoT}.$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

MM He	4 R* He	2078.5 cp He	5196.25
MM Ar	40 R* Ar	207.85 cp Ar	519.625
R*m	1517.31		
cpm	3793.26	(verifica 3793.2625)	
ρ	8.82		
γ	1.67		
Ti	523.15	Pi	7000000.00
Tu	109.41	Pu	140000.00
l iso = Δh iso	-1569442.38		
V^o	10.00	M^o	88.19
L^o iso	-138402615.66		
η_{isoT}	0.80		
L^o reale	-110722092.53		

Esercizio 2

Noti Q_h e il rendimento di I Principio, si calcolano immediatamente L_{reale} e Q_c .

Il ΔS della sorgente fredda è quindi immediatamente calcolabile come $\Delta S_c = - Q_c / T_c$.

Per la sorgente calda invece la T è variabile e quindi è necessario determinare la T finale ed il ΔS correttamente:

$$Q_h = M_h c_{Ph} \Delta T_h \Rightarrow T_{h2} = T_{h1} - Q_h / (M_h c_{Ph})$$

$$\Delta S_h = M_h c_{Ph} \ln (T_{h2}/T_{h1})$$

A questo punto:

$$\Delta S_{\text{tot}} = \Delta S_{\text{h}} + \Delta S_{\text{c}}$$

$$E_{\text{unu}} = -T_{\text{c}} \Delta S_{\text{tot}}$$

$$L_{\text{ideale}} = L_{\text{reale}} + E_{\text{unu}}$$

$$\eta_{\text{CR}} = -L_{\text{ideale}} / Q_{\text{h}}$$

$$\eta_{\text{II}} = \eta_{\text{I}} / \eta_{\text{CR}}$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

Q_h	3000000		
M_{Fe}	20.00		
cp_{Fe}	450.00		
ΔT_{Fe}	333.33		
T1_{Fe}	973.15	T1 [°C]	700
T2_{Fe}	639.82	T2 [°C]	366.6667
Δs_H	-188.71		
ΔS_H	-3774		
η_I	0.20		
L_{reale}	-600000		
Q_c	-2400000		
TC	293.15		
ΔS_C	8186.94		
ΔS_{tot}	4412.73		
E_{unu}	1293591		
L_{id}	-1893591		
η_{CR}	0.63		
η_{II}	0.32		

Esercizio 3

Il sistema è costituito da due cilindri pieni in serie. Dato che le superfici laterali degli stessi sono adiabatiche, lo scambio termico è monodimensionale, in direzione assiale.

Dunque sapendo di essere in condizioni stazionarie si può utilizzare l'analogia elettrica, con nodi estremi la temperatura imposta sulla base del tondino in acciaio e la temperatura dell'aria indisturbata:

$$Q^{\circ} = -A (T_{\text{oo}} - T_1) / (s_{\text{FeC}}/\lambda_{\text{FeC}} + s_{\text{PVC}}/\lambda_{\text{PVC}} + 1/h) = -(\pi D^2/4) (T_{\text{oo}} - T_1) / (L_{\text{FeC}}/\lambda_{\text{FeC}} + L_{\text{PVC}}/\lambda_{\text{PVC}} + 1/h)$$

$$T_{\text{maxPVC}} = T_1 - Q^{\circ} L_{\text{FeC}} / (\lambda_{\text{FeC}} A)$$

Se $T_{\text{maxPVC}} < T_{\text{MAX}}$ in ogni punto nel PVC, il PVC può essere utilizzato. In questo caso no.

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base, T in °C):

D	0.015		
A	0.0001767		
λ_{FeC}	14	λ_{FeC}	0.067
λ_{PVC}	0.16	λ_{PVC}	0.007
T_{oo}	20	h	30
T₁	120		
T_{max}	90		
R^{''}_{cond}	0.04854		
R^{''}_{tot}	0.08187		
R_{tot}	463.28		
Q°	0.216		
T_{maxPVC}	114.15		