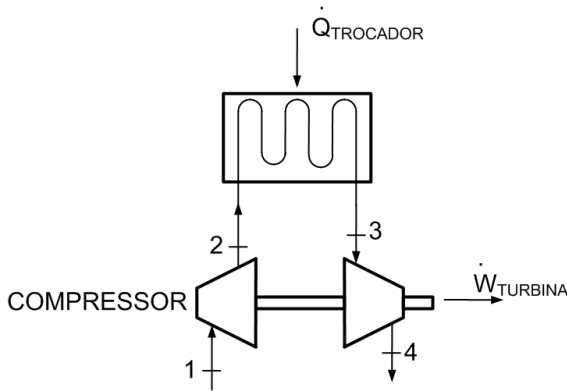


Questão 1

1) Uma planta com turbina a gás opera em regime permanente como mostrado na Figura 1. Esta planta consiste em um compressor a ar montado no mesmo eixo que a turbina. Dados sobre os estados em vários pontos da planta são apresentados na Figura 1. Adotando que as variações de energia cinética e potencial são desprezíveis, modelo de gás ideal e que o compressor e a operam em um processo adiabático, avalie: a potência do compressor e o trabalho líquido da planta.



Dados:

- Fluido de trabalho: ar;
- $p_1 = 100 \text{ kPa}$
- $T_1 = 16^\circ\text{C}$
- $V_1 A_1 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$
- $T_2 = 260^\circ\text{C}$
- $T_3 = 1200^\circ\text{C}$
- $T_4 = 550^\circ\text{C}$
- $p_4 = 100 \text{ kPa}$

Solução:

Aplicando a 1ª Lei para o volume de controle definido pelo compressor:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left[h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right] - \sum \dot{m}_s \left[h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right]$$

Adotando as seguintes hipóteses, temos:

- Regime permanente: $\frac{dE_{vc}}{dt} = 0$;
- Variações desprezíveis de energia cinética e potencial:

$$\frac{V_e^2}{2} - \frac{V_s^2}{2} = 0 \qquad gz_e - gz_s;$$

- Processo adiabático: $\dot{Q}_{vc} = 0$;

Aplicando a conservação de massa para o volume de controle do compressor:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Logo:

$$\dot{W}_{compressor} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

Sendo:

$$\dot{m}_1 = \rho_1 V_1 A_1 = \frac{V_1 A_1}{v_1} = \frac{V_1 A_1}{\frac{RT_1}{p_1}} = \frac{p_1 V_1 A_1}{RT_1} = \frac{100 \times 10^3 * 20}{287 * (16 + 273)} = 24,1 \text{ kg/s}$$

Sendo gás perfeito:

$$\dot{W}_{compressor} = \dot{m} C_{p,ar} (T_1 - T_2) = 24,1 * 1004 * ((16 + 273) - (260 + 273))$$

$$\dot{W}_{compressor} = -5.903,9 \text{ kW}$$

Aplicando a 1ª Lei para o volume de controle definido pela turbina:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left[h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right] - \sum \dot{m}_s \left[h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right]$$

Adotando as seguintes hipóteses, temos:

- Regime permanente: $\frac{dE_{vc}}{dt} = 0$;
- Variações desprezíveis de energia cinética e potencial:

$$\frac{V_e^2}{2} - \frac{V_s^2}{2} = 0 \qquad gz_e - gz_s;$$

- Processo adiabático: $\dot{Q}_{vc} = 0$;

Aplicando a conservação de massa para o volume de controle do compressor:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Logo:

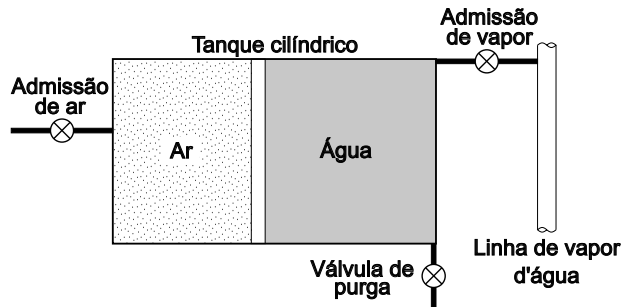
$$\dot{W}_{VC} = (\dot{W}_{compressor} + \dot{W}_{líquido}) = \dot{m}(h_3 - h_4)$$

Portanto, para gás perfeito:

$$\dot{W}_{líquido} = \dot{m}(h_3 - h_4) - \dot{W}_{compressor} = \dot{m} C_{p,ar} (T_3 - T_4) - \dot{W}_{compressor}$$

$$\dot{W}_{líquido} = 24,1 * 1004 * ((1200 + 273) - (550 + 273)) - 5.903,9 \times 10^3 = 9823,8 \text{ kW}$$

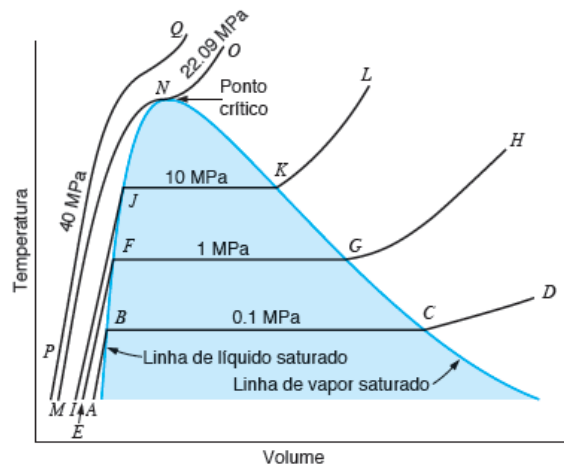
Questão 2: O sistema mostrado na figura se presta a acumular uma certa quantidade de água líquida a alta temperatura num tanque cilíndrico, por bateladas. Um pistão divide o tanque em duas câmaras, uma para ar comprimido e outra para água. A capacidade total do tanque, já descontado o volume do pistão, é de 250 litros. A câmara de água é alimentada por uma linha de vapor d'água a 2 MPa e 400 °C. (22 °C), e o pistão se encontra na extremidade da direita do cilindro. No início do processo, o tanque contém somente ar à temperatura ambiente. Com a válvula de admissão de ar fechada, a válvula de admissão de vapor é então aberta, e vapor escoa para dentro do cilindro vagarosamente, de forma que durante o processo o ar é comprimido isotermicamente. Terminado o enchimento, a válvula de admissão é fechada e a água líquida a alta temperatura é extraída pela linha de purga, com a ajuda de compressão adicional na câmara de ar.



- Qual é a máxima temperatura de água líquida ao final do enchimento que pode ser obtida por este sistema, nestas condições? Justifique sua resposta. (1,0 ponto)
- Para a condição do item a) qual deve ser a pressão do ar no tanque no início do processo para permitir que 150 kg de água líquida sejam fornecidos a cada batelada? (1,0 ponto)
- Qual é o calor transferido para a água do início ao fim do enchimento? (2,0 pontos)
- Qual é o calor transferido para o ar do início ao fim do enchimento? (1,0 ponto)

Solução:

a) Como pode ser observado no diagrama $T-v$, a temperatura da água líquida aumenta com a pressão, portanto a maior temperatura se dará com a máxima pressão que pode ser alcançada, que é a pressão da linha. Além disso, a uma dada pressão, a fase líquida atinge a sua maior temperatura quando o estado é de líquido saturado. Portanto, concluímos que a maior temperatura possível para a água líquida no sistema sob as condições dadas é a temperatura do líquido saturado a 2 MPa, que é 212,4 °C.



1,0 ponto

b) Nas condições do item a), temos líquido saturado a 2 MPa. Neste estado, o volume específico é $v_l = 0,001177 \text{ m}^3/\text{kg}$. Para comportar $m_l = 150 \text{ kg}$ de líquido ao final do enchimento, serão

ocupados

$$V_l = v_l m_l = 0,17655 \text{ m}^3$$

e, conseqüentemente, o volume ocupado pelo ar ao final do enchimento será de

$$V_{ar} = V_t - V_l = 0,250 - 0,17655 = 0,07345 \text{ m}^3.$$

Ao final do enchimento também sabemos a pressão do ar, que deve ser igual à pressão da linha, 2 MPa. Como o processo é isotérmico, considerando que o ar se comporta como gás ideal e chamando de 1 o estado inicial e 2 o estado final (após enchimento), temos:

$$p_1 V_{ar1} = p_2 V_{ar2} \quad \Rightarrow \quad p_1 = \frac{2000 \times 0,07345}{0,250} = 587,5 \text{ kPa}.$$

1,0 ponto

c) Consideramos que o processo de enchimento é um processo em regime uniforme. Desprezando, por hipótese, variações de energia cinética e potencial, a 1ª Lei aplicada à câmara de água é:

$$\begin{aligned} m_2 \left(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \cancel{m_1} \left(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) = \\ Q_{\cancel{VC}} - W_{\cancel{VC}} + \sum m_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \cancel{\sum m_s} \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \\ \Rightarrow m_2 u_2 = Q_{\cancel{VC}} - W_{\cancel{VC}} + m_e h_e. \end{aligned}$$

E a conservação de massa fornece:

$$m_2 - \cancel{m_1} = \sum m_e - \cancel{\sum m_s} \quad \Rightarrow \quad m_2 = m_e = m = 150 \text{ kg}.$$

No estado final (2), temos líquido saturado a 2 MPa. Da tabela: $u_2 = 906,4 \text{ kJ/kg}$.

Na entrada, temos vapor a 2 MPa e 400 °C. Usando as tabelas, verificamos que se trata de vapor superaquecido, e que $h_e = 3247,6 \text{ kJ}$.

Para calcular o trabalho, admitiremos que o processo de enchimento é quase estático, ou seja, que a pressão da água a todo instante é igual à pressão do ar, que está sofrendo uma compressão isotérmica. Ou seja,

$$p = \frac{p_1 V_{ar1}}{V_{ar}} = \frac{p_1 V_{ar1}}{V_t - V_{\cancel{água}}}$$

Chamando $p_1 V_{ar1} = \mathfrak{C}$, podemos então calcular o trabalho:

$$W_{\cancel{VC}} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_0^{V_l} \frac{\mathfrak{C}}{V_t - V} dV = -\mathfrak{C} [\ln |V - V_t|]_0^{V_l} = -\mathfrak{C} \ln \frac{|V_l - V_t|}{|-V_t|} = 179,9 \text{ kJ}$$

Alternativamente, o trabalho da água poderia ser calculado como sendo $-W_{ar}$, onde W_{ar} é o trabalho realizado pelo volume de ar.

Podemos então, utilizar a expressão da 1ª Lei para calcular o calor trocado:

$$Q_{\forall C} = m_2 u_2 + W_{\forall C} - m_e h_e = 150 \times 906,4 + 179,9 - 150 \times 3247,6 = -351 \text{ MJ}.$$

1,0 ponto para o cálculo do trabalho

1,0 ponto para aplicação da 1ª Lei e cálculo do calor

d) A câmara de ar se comporta como sistema. Desprezando as variações de energia cinética e potencial, a 1ª Lei pode ser escrita:

$$Q_{ar} - W_{ar} = U_{ar2} - U_{ar1}$$

Como o processo é isotérmico e, para um gás ideal, a energia interna é função exclusiva da temperatura, $U_{ar2} - U_{ar1} = 0$. Assim:

$$Q_{ar} = W_{ar} = -179,9 \text{ kJ},$$

pois $W_{\forall C} = -W_{ar}$.

1,0 ponto