

Solución C3: FIS1523 - Termodinámica

Facultad de Física

Pontificia Universidad Católica de Chile

Profs. Mario Favre y Andrés Gomberoff

Primer Semestre 2010

Un cocinero llena una olla a presión con 3 kg de agua a 20°C y una pequeña cantidad de aire. Enciende la cocina y se olvida. La olla tiene una válvula de seguridad, de modo que si la presión excede 200 kPa, escapa vapor, manteniendo la presión en la olla en 200 kPa. Considerando un proceso en que la mitad de la masa original de agua se ha escapado a través de la válvula,

1. ¿Cuánto calor se transfiere al agua en el proceso si el vapor de agua entra a la válvula como vapor saturado a 200 kPa?
2. Cuál es la temperatura de salida del vapor de agua?
3. ¿Cuánta entropía se ha generado por la salida de vapor a través de la válvula al medio ambiente a 100 kPa?

El proceso en la olla a presión es un proceso transiente, en el cual la masa de agua disminuye a la mitad. Para resolver el problema considere dos volúmenes control: alrededor de la olla y de la válvula de salida. El proceso en la válvula de salida es de estrangulamiento y, por lo tanto, estacionario y adiabático, y mantiene constante la entalpía específica.

Si en el proceso transiente el sistema cambia del estado inicial 1 al estado final 2, y los índices e y s se refieren a entrada o salida de masa del sistema durante el proceso, las ecuaciones que describen el proceso, ignorando cambios en energía cinética y potencial, son:

Ecuación de continuidad:

$$[m_2 - m_1]_{v.c.} = \sum m_e - \sum m_s$$

Primera Ley de la Termodinámica:

$$Q_{v.c.} + \sum m_e h_e = \sum m_s h_s + [m_2 u_2 - m_1 u_1]_{v.c.} + W_{v.c.}$$

donde u , h , s son, respectivamente, la energía, entalpía y entropía específicas, y S_{gen} es la entropía generada.

En el proceso estacionario:

Segunda Ley de la termodinámica:

$$s_s = s_e + \frac{q}{T} + s_{gen}$$

Solución

1. Considerando volumen control en torno a la olla, dejando fuera de ella a la válvula y dado que en el proceso no se hace trabajo y que sólo sale masa de agua, la 1ª Ley establece que

$$\Delta Q_{12} = m_s h_s + [m_2 u_2 - m_1 u_1]$$

De la ecuación de continuidad, con $m_2 = m_1/2$

$$-m_s = m_2 - m_1$$

de donde resulta $m_s = m_1/2$.

La condición inicial es agua líquida a $T_1 = 20^\circ\text{C}$ y $P_1 = 100$ kPa (presión atmosférica). La condición final es agua líquida y vapor a $P_2 = 200$ kPa. Para el cálculo pedido, ΔQ_{12} , se necesita conocer valores de entalpía y energía interna específicas, en los estados inicial y final. En la tabla respectiva no figura el valor de energía interna para el estado de líquido sobrec comprimido a 100 kPa y 20° . En estas condiciones el valor respectivo puede ser aproximado por el correspondiente a líquido saturado a 20° . De la tabla respectiva se obtiene $u_1 = 83.94$ kJ/kg. El agua sale como vapor saturado a 200 kPa. De la tabla respectiva se obtiene $u_2 = 2529.49$ kJ/kg y $h_s = 2706.63$ kJ/kg. Reemplazando en la ecuación para ΔQ_{12} , con $m_1 = 3.0$ kg y $m_2 = m_s = 1.5$ kg,

$$\Delta Q_{12} = 1.5 \cdot 2706.63 + [1.5 \cdot 2529.49 - 3.0 \cdot 83.94] = 7602.36 \text{ kJ}$$

2. Considerando volumen control en torno a la válvula de salida, dado que el proceso es adiabático y no hay trabajo, la 1ª Ley establece que, con la condición 3 correspondiendo a la salida de la válvula,

$$h_3 = h_s = 2706.63 \text{ kJ/kg}$$

El estado a la salida es vapor supercalentado a $P_3 = 100$ kPa, con entalpía $h_3 = 2706.63$ kJ/kg. De la tabla respectiva se conocen los valores de entalpía $h_{3a} = h(@99.62^\circ\text{C}) = 2675.46$ kJ/kg y $h_{3b} = h(@150^\circ\text{C}) = 2776.38$ kJ/kg. Interpolando entre estos valores, esto es, suponiendo dependencia lineal de la temperatura con la entalpía,

$$T_3 = T_0 + \alpha h_3$$

se obtiene $T_0 = -962.989$ K y $\alpha = 0.4992$ K/(kJ/kg). De donde se encuentra que la temperatura correspondiente es $T_3 = 114.62^\circ\text{C}$.

3. Como el proceso en la válvula es sin flujo de calor, la 2ª Ley establece que

$$s_3 = s_s + \Delta s_{s3gen}$$

De la tabla, para la condición vapor saturado a 200 kPa, se obtiene $s_s = 7.1271$ kJ/kg·K.

Interpolando en la misma tabla anterior para vapor supercalentado a 100 kPa, de

$$s = s_0 + \beta T$$

se obtiene de los valores de tabla $s_0 = 5.4807$ kJ/kg y $\beta = 0.005$ kJ/(kg K²), de donde resulta $s_3 = 7.4188$ kJ/kg. Con estos valores,

$$\Delta s_{s3gen} = 7.4188 - 7.1271 = 0.2917 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

La entropía generada es

$$S_{gen} = m_s \cdot s_{s3gen} = 1.5 \cdot 0.2917 = 0.43755 \text{ kJ/K}$$