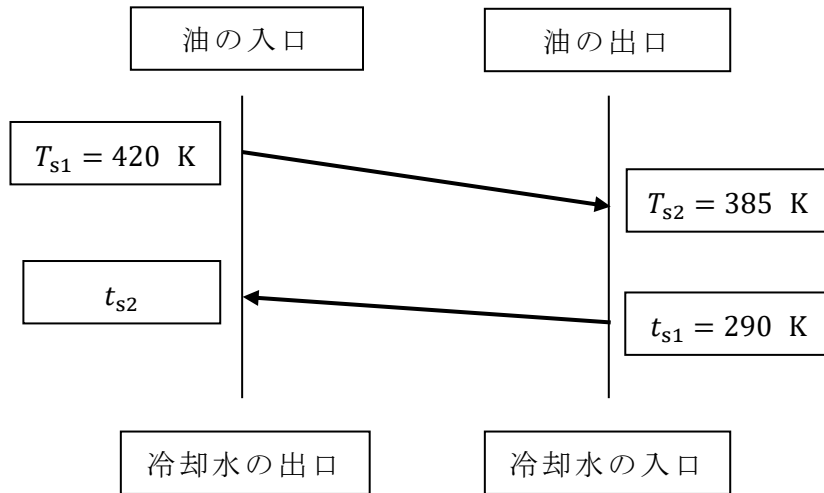


令和 6 年度高圧ガス製造保安責任者試験（記述式）の解答例
（甲種機械・学識）

【問 1 の解答例】

(1) 汚れ付着後の運転条件は以下の通りである。



汚れ付着後の運転条件

(2) 内管の外径 d_2 [m]、および内管の平均径 d_{av} [m] は、

$$d_2 = d_1 + 2x = 0.046 + 2 \times 0.002 = 0.050 \text{ m}$$

$$d_{av} = (d_1 + d_2)/2 = (0.046 + 0.050)/2 = 0.048 \text{ m}$$

汚れ付着前の総括伝熱係数（熱貫流率） U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]（内管平均径基準）は、

$$\begin{aligned} 1/U &= d_{av} \{ 1/(h_1 d_1) + x/(\lambda d_{av}) + 1/(h_2 d_2) \} \\ &= 0.048 \times \{ 1/(500 \times 0.046) + 0.002/(50 \times 0.048) + 1/(850 \times 0.050) \} \\ &= 0.048 \times (0.0435 + 0.0008 + 0.0235) \\ &= 0.048 \times 0.0678 = 0.00325 \\ U &= 308 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

(3) 管の汚れ付着前後の流量、比熱は変化しないので、伝熱速度の比 Q/Q_s は油と冷却水の出入口の温度差で表される。

$$\begin{aligned} Q/Q_s &= (T_1 - T_2)/(T_{s1} - T_{s2}) = (t_2 - t_1)/(t_{s2} - t_{s1}) \\ &= (420 - 380)/(420 - 385) = (303 - 290)/(t_{s2} - 290) \\ &= 40/35 = 13/(t_{s2} - 290) \end{aligned}$$

したがって、汚れ付着後の冷却水の出口温度 t_{s2} [K] は、

$$t_{s2} = 290 + 13 \times 35/40 = 301 \text{ K}$$

- (4) ここで、汚れ付着前の算術平均温度差 ΔT [K] および汚れ付着後の算術平均温度差 ΔT_s [K] は、それぞれ

$$\Delta T = \frac{(T_1 - t_2) + (T_2 - t_1)}{2} = \frac{(420 - 303) + (380 - 290)}{2} \\ = 103.5 \text{ K}$$

$$\Delta T_s = \frac{(T_{s1} - t_{s2}) + (T_{s2} - t_{s1})}{2} = \frac{(420 - 301) + (385 - 290)}{2} \\ = 107 \text{ K}$$

$$\begin{array}{ll} \text{汚れ付着前の伝熱速度} & Q = U A \Delta T \\ \text{汚れ付着後の伝熱速度} & Q_s = U_s A \Delta T_s \quad \text{より、} \end{array}$$

$$\begin{aligned} Q / Q_s &= U A \Delta T / (U_s A \Delta T_s) = U \Delta T / (U_s \Delta T_s) \\ U_s &= U (\Delta T / \Delta T_s) (Q_s / Q) \end{aligned}$$

(2) より、 $U = 308 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

(3) より、 $Q / Q_s = 40/35$ から、汚れ付着後の総括伝熱係数（熱貫流率） U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]（内管平均径基準）は、

$$U_s = 308 \times (103.5/107) \times (35/40) = 261 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

【問 2 の解答例】

- (1) $D = 0.100 \text{ m}$ 、 $\bar{u} = 2.00 \text{ m/s}$ 、 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、 $\mu = 1.00 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ より、
 $Re = D\bar{u}\rho/\mu = 0.100 \times 2.00 \times 1000 / (1.00 \times 10^{-3}) = 2.00 \times 10^5$
したがって、 Re は 4000 よりも十分に大きいので、乱流である。

- (2) ファニングの式に $f = 0.005$ 、 $l = 100 \text{ m}$ を代入し、
$$F = 4f \left(\frac{\bar{u}^2}{2} \right) \left(\frac{l}{D} \right) = 4 \times 0.005 \left(\frac{2.00^2}{2} \right) \left(\frac{100}{0.100} \right) = 40.0 \text{ J/kg}$$

- (3) エネルギー保存の式は、ベルヌーイの式を使って以下のようになる。
$$(u_1^2/2) + p_1/\rho + gh_1 + w = (u_2^2/2) + p_2/\rho + gh_2 + F$$

ここで、 $u_1 = 0$ 、 $u_2 = \bar{u}$ 、 $p_2 = p_1$ 、 $h = h_2 - h_1$ であるから、機械的工作 $w [\text{J/kg}]$ は、
$$w = (\bar{u}^2/2) + gh + F = (2.00^2/2) + 9.8 \times 10.0 + 40.0 = 140 \text{ J/kg}$$

- (4) $q = (\pi/4) \cdot D^2 \bar{u} \rho = (\pi/4) \times 0.100^2 \times 2.00 \times 1000 = 15.7 \text{ kg/s}$

- (5) 理論動力 $P_w [\text{W}]$ は $P_w = w \cdot q$ であるから、
$$P_w = w \cdot q = 140 \times 15.7 = 2198 \approx 2200 \text{ J/s} = 2200 \text{ W}$$

【問 3 の解答例】

(1)

目的：溶接後、溶接部について各種非破壊検査が実施されるが、これらの結果だけでは十分な溶接品質があることを判断するのは困難であるため、事前に適用する溶接施工法が適切であることを確認する。

内容：溶接施工する前に予定している溶接施工法案に従い、基本的に当該部と同じものを溶接し、溶接部から各種試験片を採取して試験することにより、機械的性質などが十分であることを確認する。

(2)

①オーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 の粒界腐食

原因	溶接熱影響部において結晶粒界にクロム炭化物が形成されることでクロムの欠乏層が生じて、腐食環境下で粒界が腐食する。
発生時期	溶接施工後の設備使用中に発生する。
防止策	クロム欠乏層が生じた組織を回復するために、固溶化熱処理を行う。低炭素またはチタンやニオブを添加した母材を採用する。

②アルミニウム合金の高温割れ

原因	溶接金属が凝固するときには、低融点成分が最後に凝固するが、この部分は延性が劣り、すでに凝固した部分に拘束されて、収縮力に抗しきれずに割れに至る。
発生時期	溶接直後に発生する。
防止策	パルス電源の採用、クレータ処理機能のある電源の採用、適正な運棒法によるクレータ処理などにより、凝固時の収縮力を低減する。

③疲労割れ

原因	応力の繰返し、残留応力による溶接ビードと母材との境界部（止端部）の応力集中による。
発生時期	溶接施工後の設備使用中に発生する。
防止策	溶接施工後にビードの整形により止端部形状を滑らかに仕上げたり、母材面まで溶接ビードを削除して平らに仕上げる。溶接後熱処理により残留応力を軽減する。繰返し応力を低減する。

【問 4 の解答例】

- (1) 1) 棒の両端が固定されていないときの垂直ひずみ ε_0 は、線膨張係数 α と温度上昇幅 ΔT より、

$$\varepsilon_0 = \alpha \Delta T$$

- 2) 棒の両端が固定されているときの垂直ひずみ ε_1 は、熱応力 σ と縦弾性係数 E より、

$$\varepsilon_1 = \sigma/E \quad (\text{参考: } \Delta T > 0 \text{ なので } \sigma < 0 \text{ (圧縮応力)である。})$$

- 3) $\varepsilon_0 + \varepsilon_1 = \alpha \Delta T + \sigma/E = 0$ であるから、熱応力 σ は、

$$\sigma = -\alpha E \Delta T$$

- (2) 題意のとき、 $\sigma = \sigma_k$ である。よって、(1)の3)および σ_k の式より、
 $-\alpha E \Delta T = -4\pi^2 EI/(L^2 A)$ であるから、 $\Delta T = 4\pi^2 I/(\alpha L^2 A)$ となる。

【問5の解答例】

- (1) 気体のモル熱容量の比が $\gamma = 1.4$ なので、定圧モル熱容量 $C_{m,p}$ [J/(mol·K)] および定容モル熱容量 $C_{m,V}$ [J/(mol·K)] は、

$$C_{m,p} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R = \frac{1.4}{1.4 - 1} \times 8.31 = 29.1 \text{ J/(mol·K)}$$

$$C_{m,V} = \frac{1}{\gamma - 1} R = \frac{1}{1.4 - 1} \times 8.31 = 20.8 \text{ J/(mol·K)}$$

- (2) 可逆断熱圧縮後の温度 T_2 [K] は、

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300 \times \left(\frac{1 \times 10^6}{125 \times 10^3} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 300 \times 8^{0.286} = 543 \text{ K}$$

(図より、 $8^{0.286} \doteq 1.8$ であり、 $T_2 = 300 \times 1.8 = 540 \text{ K}$)

可逆断熱変化では、圧縮に要した仕事は内部エネルギー増加量に等しいので、圧縮に要した仕事 W_{12} [J] は、

$$W_{12} = \Delta U_{12} = nC_{m,V}(T_2 - T_1) = 3 \times 20.8 \times (543 - 300) = 1.52 \times 10^4 \text{ J}$$

- (3) 状態②から状態③への変化は定圧冷却なので、除熱量 Q_{23} [J] は、

$$Q_{23} = nC_{m,p}(T_2 - T_3) = 3 \times 29.1 \times (543 - 300) = 2.12 \times 10^4 \text{ J}$$

- (4) 状態②から状態③への変化は定圧変化なので、気体になされた仕事 W_{23} [J] は、

$$\begin{aligned} W_{23} &= - \int_2^3 p dV = p_2(V_2 - V_3) = p_2V_2 - p_2V_3 = nR(T_2 - T_3) \\ &= 3 \times 8.31 \times (543 - 300) = 6.06 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

- (5) 等温変化で圧縮に要する仕事 W_{13} [J] は、

$$\begin{aligned} W_{13} &= - \int_1^3 p dV = - \int_1^3 \frac{nRT}{V} dV = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_3} = nRT_1 \ln \frac{p_3}{p_1} \\ &= 3 \times 8.31 \times 300 \times \ln \frac{1 \times 10^6}{125 \times 10^3} = 3 \times 8.31 \times 300 \times \ln 8 \\ &= 1.55 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$