



Pergunta 1 (1,5 valores)

Como é movida a carga nos fornos de impulso?

A carga forma uma camada continua de material que é depositada numa fornalha refractaria ou sobre uma serie de calços. A camada é movida gradualmente ao longo do forno por meio de um cabeçote até à carga final do forno. Aula 10 – Slide 23

Pergunta 2 (1,5 valores)

Que matérias e porque são geralmente processados em fornos transportadores?

Uma distorção excessiva do sistema do transportador pode surgir devido a elevadas cargas e temperatura, por isso, estes fornos são geralmente usados para o processamento de componentes leves a baixas temperaturas. Assim, por exemplo, ligas de aço, correias de malha estão limitados a operar a temperaturas abaixo de 800°C e são frequentemente usados em fornos de vidro e fornos para tratamento a quente de pequenas componentes metálicas. Aula 10-Slide 26

Pergunta 3 (1,5 valores)

Quais as características dos fornos de fusão e dos fornos de aquecimento?

Uma característica dos fornos de fusão é dos materiais processados neles alterarem o seu estado de agregação. Os fornos de aquecimento são empregues para aquecer materiais para calcinação ou para secagem como também para aumentar a plasticidade dos metais antes do seu funcionamento. Aula 12 – Slide 4

Pergunta 4 (1,5 valores)

Qual a diferença entre os problemas interno e externo que acontecem nos fornos?

No problema externo, a transferência de calor ocorre principalmente devido à radiação e a convecção enquanto no problema interno, a transferência de calor ocorre predominantemente pela condução, apesar de em líquidos aquecidos, a transferência de calor convectiva também possa ser possível. Aula 12-Slide 25

Pergunta 5 (1,5 valores)

Como se determina o ponto de fusão de um refractario?

O ponto de fusão de um refractário determina-se pela temperatura a que uma pirâmide de teste (cone) não suporta mais o seu peso próprio. Aula 13-Slide 10

Pergunta 6 (5,0 valores)

Determinar a altura da chaminé fabricada de aço com revestimento interno de um forno que queima um combustível líquido com a seguinte composição, dada em massa de trabalho: Carbono 58,5%, Hidrogénio 4,5%, Oxigénio 17,1%, Enxofre 1,8 %, com o excesso de ar de 25% e que produz 7,990 m³/kg_{comb} de gases de escape.

A conduta que leva os gases à chaminé tem uma curva de 90° de raio longo e uma válvula de retenção, para não permitir o retorno dos gases ao forno. As perdas de pressão ao longo da conduta, sem tomar em conta as localizadas são de 162,2 Pa.

O consumo de combustível é de 0,773 kg/s e são os seguintes os dados restantes:

Velocidade dos gases na conduta	7	m/s
Velocidade dos gases na boca da chaminé	4	m/s
Temperatura na base da chaminé	400	°C
Densidade do gás	1,30	kg/m ³
Densidade do ar	1,29	kg/m ³
Pressão dos gases	1,05·10 ⁵	Pa
Coefficiente de viscosidade cinemática	0,00007	m ² /s
Rugosidade relativa	0,01	
Coefficiente de resistência da chaminé	1,06	
Temperatura do ar ambiente	30	°C
Aceleração gravitacional	9,81	m/s ²

1. Cálculo do volume teórico de ar.

$$V_{ar}^0 = 0,0889(C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,269 \cdot H^t - 0,0336 \cdot O^t = 5,884 \left[\frac{m^3}{kg_{comb}} \right] \text{ (0,25 valor)}$$

2. O fluxo volumétrico dos gases que passam pela chaminé calcula-se de:

$$\dot{V}_g^{ch} = \dot{B}_c \left[V_{gNor}^o + (\alpha_{ch} - 1) V_{ar} \right] \frac{t_{gB}^{ch} + 273}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{P_B} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{V}_g^{ch} = 0,773 \left[7,99 + (1,25 - 1) 5,884 \right] \frac{400 + 273}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{1,05 \cdot 10^5} = 17,35 \left[\frac{m^3}{s} \right] \text{ (0,5 valor)}$$



3. O diâmetro da saída da chaminé é dado por:

$$d_{boca} = 1,13 \sqrt{\frac{V_{gNor}^{ch}}{C_{g\ boca}}} \quad (0,125)$$

$$d_{boca} = 1,13 \sqrt{\frac{17,35}{4}} = 2,35 \text{ [m]}$$

4. O diâmetro da base da chaminé é dado por:

$$d_{base} = 1,5d_{boca} = 1,5 \cdot 2,396 = 3,525 \text{ [m]} \quad (0,125)$$

5. O diâmetro médio da chaminé é dado por:

$$d_{médio} = \frac{d_{base} + d_{boca}}{2} = \frac{2,350 + 3,525}{2} = 2,937 \text{ [m]} \quad (0,125)$$

A velocidade na base da chaminé é dada por:

$$C_{g\ base} = \frac{C_{g\ boca} \cdot d_{boca}^2}{d_{base}^2} \quad (0,125)$$

$$C_{g\ base} = \frac{4 \cdot 2,350^2}{3,525^2} = 1,78 \text{ [m/s]}$$

6. A velocidade média dos gases na chaminé é dada por:

$$C_{médio} = \frac{C_{base} + C_{boca}}{2} = \frac{1,78 + 4}{2} = 2,889 \text{ [m/s]} \quad (0,125)$$

7. As perdas locais na conduta, calculam-se de:

$$\Delta P_{curva} = \zeta_l \frac{c^2}{2} \rho = 0,4 \frac{7^2}{2} 1,3 = 12,74 \text{ [Pa]} \quad (0,125)$$

$$\Delta P_{lválvula} = \zeta_l \frac{c^2}{2} \rho = 2,50 \frac{7^2}{2} 1,3 = 79,625 \text{ [Pa]} \quad (0,125)$$

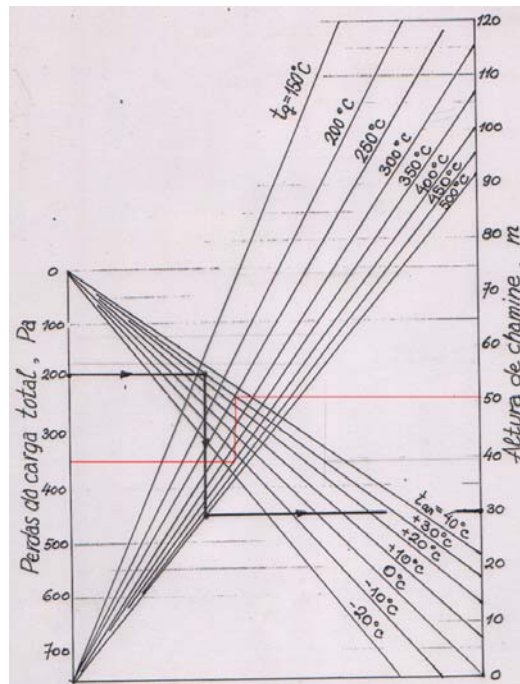
8. As perdas totais calculam-se de:

$$\Delta P = \Delta P_{at} + \sum \Delta P_l = 162,2 + 12,74 + 79,625 = 254,565 \text{ [Pa]} \quad (0,125)$$

9. As perdas são multiplicadas por um coeficiente de segurança :

$$\Delta P = (1,2 \div 1,3)\Delta P = 1,3 \cdot 254,565 = 330,935 \text{ [Pa]} \quad (0,25)$$

10. Do ábaco retira-se a altura aproximada da chaminé que é de aproximadamente 51 m. Acrescemos 10% para compensar erros. Seja $H=55 \text{ m}$



11. A temperatura dos gases a saída da chaminé determina-se de:

$$t_{boca} = t_{base} - \Delta t \cdot H = 400 - 2,5 \cdot 55 = 262,50 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (0,50)$$

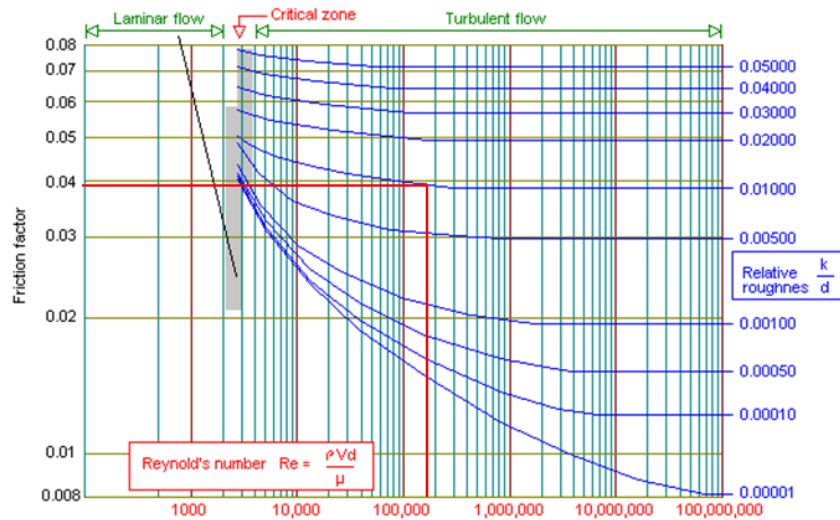
12. A temperatura média dos gases na chaminé determina-se de:

$$t_{m\u00e9dio} = \frac{t_{base} + t_{boca}}{2} \quad (0,125)$$

$$t_{m\u00e9dio} = \frac{400 + 262,5}{2} = 331,25 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (0,125)$$

13. Calcula-se o n\u00famero de Reynolds de:

$$R_e = \frac{C_{medio} \cdot d_{medio_{eq}}}{\nu} = \frac{\rho \cdot C_{medio} \cdot d_{medio_{eq}}}{\mu} = 171143,29,3 \quad (0,125)$$



14.O factor de fricção é aproximadamente igual a 0,038 (0,125)

A altura da chaminé calcula-se da fórmula empírica:

$$H = \frac{\Delta P + \zeta \frac{c_{boca}^2}{2} \rho_{gás} (1 + \beta \cdot t_{boca})}{g \left(\frac{\rho_{ar}}{1 + \beta \cdot t_{ar}} - \frac{\rho_{gás}}{1 + \beta \cdot t_g} \right) - \frac{\lambda}{3d_{médio}} \frac{c_{médio}^2}{2} \rho_{gás} (1 + \beta \cdot t_g)}$$

$$H = \frac{330,94 + 1,06 \frac{4^2}{2} \cdot 1,3 (1 + 0,00366 \cdot 262,50)}{g \left(\frac{1,29}{1 + 0,00366 \cdot 30} - \frac{1,3}{1 + 0,00366 \cdot 331,25} \right) - \frac{0,038}{3 \cdot 2,995} \frac{2,889^2}{2} 1,3 (1 + 0,00366 \cdot 331,25)} \quad (1 \text{ valor})$$

H= 64,39 [m]

Comparada a altura calculada com a assumida tem-se um erro de 14%, então deve-se efectuar de novo os cálculos com a altura calculada.

A temperatura dos gases a saída da chaminé determina-se de:

$$t_{boca} = t_{base} - \Delta t \cdot H = 400 - 2,5 \cdot 64,39 = 239,03 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

A temperatura média dos gases na chaminé determina-se de:

$$t_{médio} = \frac{t_{base} + t_{boca}}{2}$$

$$t_{médio} = \frac{400 + 239,03}{2} = 319,51 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$H = \frac{\Delta P + \zeta \frac{c_{boca}^2}{2} \rho_{gás} (1 + \beta \cdot t_{boca})}{g \left(\frac{\rho_{ar}}{1 + \beta \cdot t_{ar}} - \frac{\rho_{gás}}{1 + \beta \cdot \bar{t}_g} \right) - \frac{\lambda}{3d_{médio}} \frac{c_{médio}^2}{2} \rho_{gás} (1 + \beta \cdot \bar{t}_g)}$$

$$H = \frac{330,94 + 1,06 \frac{4^2}{2} \cdot 1,3(1 + 0,00366 \cdot 239,03)}{g \left(\frac{1,29}{1 + 0,00366 \cdot 30} - \frac{1,3}{1 + 0,00366 \cdot 319,51} \right) - \frac{0,038}{3 \cdot 2,995} \frac{2,889^2}{2} \cdot 1,3(1 + 0,00366 \cdot 319,51)} \quad (1 \text{ valor})$$

$$H = 65,364 \text{ [m]}$$

Comparada a altura calculada com a assumida tem-se um erro de 2,5% que é um erro aceitável

Pergunta 7 (4,0 valores)

Determine a temperatura inicial da carga apresentada na Figura 1, que está sendo tratada num forno cujo emissividade do espaço de trabalho é de 0,62 e o consumo de combustível de 3,5 kg/s.

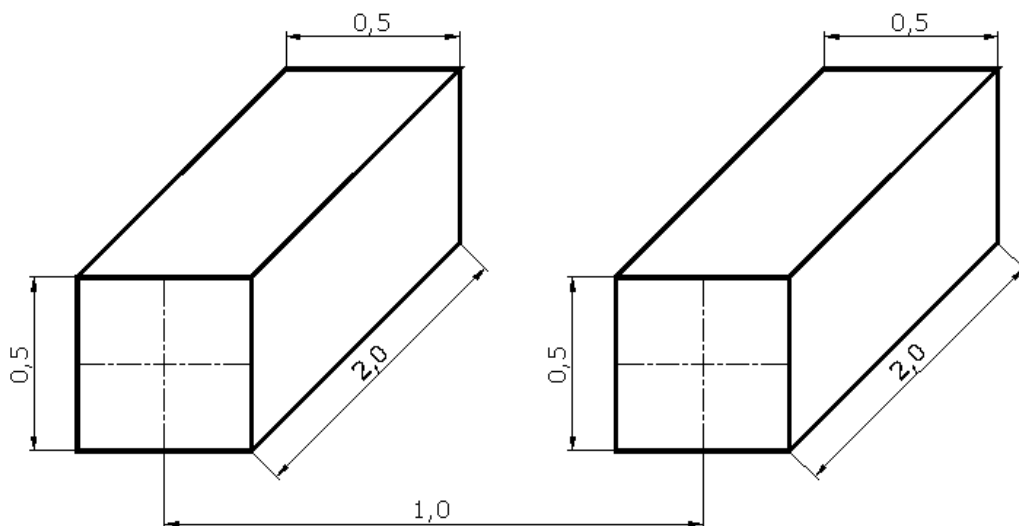


Fig-1

1	Temperatura no interior da carga	800	°C
2	Calor específico da carga	0,68	kJ/kg K
3	Massa específica da carga	7800	kg/m ³
4	Tempo de permanência da carga	120	segundos
5	Volume dos gases de escape	9	m ³ /kg



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA
Instalações Térmicas
2º Teste

120 minutos

11 de Outubro de 2013

6	Calor específico dos gases	1,5	$\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$
7	Temperatura de combustão dos gases	1280	$^\circ\text{C}$
8	Temperatura de saída dos gases	460	$^\circ\text{C}$
9	Rendimento térmico da câmara de combustão	0,85	
10	Coefficiente de Radiação do corpo negro	5,67	$\text{W/m}^2\text{K}^4$
11	Coefficiente de Poluição da superfície	0,6	
12	Coefficiente que toma em conta a convecção	1,1	

Determinação do coeficiente de fracção ϕ .

$$\frac{S}{d} = \frac{1}{0,5} = 2 \quad (0,25 \text{ valor})$$

Do ábaco lê-se o coeficiente de fracção $\phi = 0,4$ (0,25 valor)

Cálculo da área total da carga:

$$A = 2(0,5 \cdot 2,0) + 2(0,5 \cdot 2,0) = 4 \text{ m}^2 \quad (0,25 \text{ valor})$$

Cálculo da superfície de radiação:

$$H_r = A \cdot \phi = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ m}^2 \quad (0,25 \text{ valor})$$

Temperatura média no forno determina-se de:

$$T_f = \frac{T_{comb} + T_{sg}}{2} = \frac{1555 + 733}{2} = 1143 \text{ K} \quad (0,5 \text{ valor})$$

Temperatura na superfície da carga determina-se da igualdade:

$$\beta_o C_o \varepsilon_f H_r \xi \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{carga}}{100} \right)^4 \right]_{med} = \dot{B} V_g C_{gas} \eta_f (t_{comb} - t_{sg})$$
$$1,1 \cdot 5,67 \cdot 0,62 \cdot 1,6 \cdot 0,6 \left[\left(\frac{1143}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{carga}}{100} \right)^4 \right] = 3,5 \cdot 9 \cdot 1,5 \cdot 0,85 (1555 - 733)$$

$$T_{carga} = 763,64 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ou } 1036,79 \text{ K} \quad (1 \text{ valor}) \text{ ou}$$

$$T_{carga} = 678,6 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ou } 951,8 \text{ K} \quad (1 \text{ valor}) \text{ ou}$$

A temperatura inicial da carga determina-se da expressão:

$$\frac{t_{(\tau)} - t_{carga}}{t_{inic} - t_{carga}} = \exp\left(-\frac{BV_g C_g \eta_f}{\rho VC}\right) \cdot \tau$$

$$\frac{800 - 763,64}{t_{inic} - 763,64} = \exp\left(-\frac{3.594,50,85}{78000,50,68}\right)^{120}$$

$$t_{(inic)} = 987,7 \text{ } ^\circ\text{C ou } 1260,6\text{K (1,5 valores) ou}$$

$$t_{(inic)} = 679,6 \text{ } ^\circ\text{C ou } 952,8\text{K}$$

Pergunta 8 (3,5 valores)

Determinar:

- A potência média fornecida ao forno;
- O tempo de tratamento no forno.

Para um forno eléctrico de indução, usado para fundir alumínio com, com as seguintes características:

Massa da carga	4 ton
Fundo de tempo	8760 h
Percentagem de tempo de paralisações	25 %
Tempo de preparação para aquecer	2 h
A produtividade do forno	4000 ton/ano
Temperatura ambiente	30 °C
Coeficiente de utilização	0.8
Potência taxada da fonte	2000 kVA
Rendimento eléctrico	0.7
Cos φ	0.78
Potência para compensar o calor perdido no forno	30 kW

Energia para fundir uma unidade de massa:

$$i = c_p (t_{fusão} - t_{amb}) + L_f \quad (\text{kW} \cdot \text{h} / \text{t})$$

$$i = 0,248(660 - 30) + 110,5 = 267,29 \quad (\text{kW} \cdot \text{h} / \text{t}) \quad (0,5 \text{ valor})$$



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA
Instalações Térmicas
2º Teste

120 minutos

11 de Outubro de 2013

A potência média fornecida ao forno determina-se de:

$$\overline{P}_r = k_{ut} \cdot S_r \cdot \cos \phi \cdot \eta_e \quad (kW) \quad (1 \text{ valor})$$
$$\overline{P}_r = 0,8 \cdot 2000 \cdot 0,78 \cdot 0,7 = 873,6 \quad (kW)$$

O tempo de aquecimento do metal determina-se de

$$\tau_2 = \frac{i \cdot m_o + P_{per} \cdot \tau_1}{P_r - P_{per}} \quad (h) \quad (0,5 \text{ valor})$$
$$\tau_2 = \frac{267,29 \cdot 4 + 30 \cdot 2}{873,6 - 30} = 1,34 \quad (h)$$

O tempo de tratamento determina-se de:

$$Q_m = \frac{m_o}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} T(1 - 0,01\alpha) \quad (ton / ano)$$
$$\tau_3 = \left[\frac{m_o}{Q_m} T(1 - 0,01\alpha) \right] - (\tau_1 + \tau_2) \quad (h) \quad (1,5 \text{ valores})$$
$$\tau_3 = \left[\frac{4}{4000} 8760(1 - 0,01 \cdot 35) \right] - (2 + 1,34) = 3,232 \quad (h)$$

Bom Trabalho!

Engº Vicente Chirime &

Prof. Doutor Engº Jorge Nhambiu