

1) Sabe-se que a capacidade de processamento está limitada pela dissipação de calor. No sentido de aumentar essa capacidade, um microprocessador, assimilado a uma matriz de 20x10 chips pequenos, formando uma placa plana de 300 x 100 mm, com 3 mm de espessura, foi projetado com resfriamento por uma corrente de mercúrio a 27° C, com velocidade de 30 m/s ao longo de seu comprimento, banhando as suas duas faces. O mercúrio é metal líquido e tem  $Pr \ll 1$  ( $v \ll \alpha$ ), de forma que se pode considerar o escoamento como inviscido e, portanto, com velocidade constante. Os chips são isolados entre si por um substrato que se funde a 250° C. O conjunto de chips e substrato podem ser considerados como mantidos em uma temperatura constante. Pede-se, para a máxima capacidade:

- a) a distribuição de temperatura,  $T(x,y)$ , no mercúrio; d) a máxima e a mínima dissipação de calor possível em um chip  
 b) a espessura das camadas limites hidrodinâmica e térmica na saída do fluido; e) a dissipação máxima de calor no processador;  
 c) usando a distribuição encontrada em (a), a expressão do coeficiente de película; Obs. Caso não encontre a distribuição  $T(x,y)$ , prossiga no item c com a correlação adequada.

2) Sabe-se que a capacidade de processamento está limitada pela possível dissipação de calor. No sentido de aumentar essa capacidade, um microprocessador, assimilado a uma matriz 30x10 de chips pequenos, formando uma placa plana de 600x100 mm, com 4 mm de espessura, foi projetado com resfriamento por uma corrente de ar a 27° C e 200kPa, com velocidade de 15 m/s ao longo de seu comprimento, banhando as suas duas faces. Os chips são ligados entre si por um substrato que se funde a 250° C. A geração interna de calor ( $W/m^3$ ) no processamento dos chips é considerada constante, sendo dissipada apenas transversalmente (a condução de calor no plano do substrato é pequena). As propriedades da placa formada são constantes ( $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ ;  $k = 2 \text{ W/mK}$ ). Pede-se:

- a) a distribuição de coeficiente de película ao longo da face do processador, com indicação de pontos notáveis; d) as temperaturas máxima e mínima na superfície do processador, e o ponto onde ocorrem; e  
 b) a distribuição de temperatura na superfície do processador; e) a temperatura média na superfície do processador.

3) Um aquecedor de ar para um processo de secagem é constituído de um conjunto de 10 tubos de aço inox AISI 302 de diâmetros externo e interno de 0,05m e 0,044m, respectivamente, sobre os quais vapor d'água é condensado na pressão de 2,45 bar abs. O comprimento de cada tubo é de 5 m. A vazão mássica de ar em cada tubo é de 0,01 kg/s, e sua temperatura na entrada é de 20° C. Pede-se:

- a) a temperatura média do ar na seção de saída;  
 b) a vazão mássica de vapor que deve ser fornecida ao conjunto de tubos.

4) Um anemômetro de fio de platina, de 0,2mm de diâmetro, é ajustado de forma que a temperatura de sua superfície seja sempre de 200° C, através da variação da corrente em um circuito elétrico. Desprezando os efeitos da radiação, sendo a resistividade da platina de  $15 \mu\Omega\text{-cm}$ , determinar a corrente que atua no anemômetro quando a velocidade do ar, a 20° C, for de 5 m/s. Qual o efeito na corrente se a velocidade dobrar? E se apenas a temperatura do ar dobrar? Qual a velocidade do vento se a corrente inicial dobrar?

5) Um banco de tubos utiliza um arranjo alternado (quicôncio), com tubos de 10 mm de diâmetro externo,  $S_L = 7 \text{ mm}$  e  $S_T = 20 \text{ mm}$ . Há 8 fileiras de tubos, cada uma com 20 tubos. Em uma aplicação, a temperatura dos tubos é constante, 27° C. Ar a 727° C, 0,5 atm e 4 m/s escoou em sentido cruzado aos tubos. Qual a taxa de calor por unidade de comprimento do arranjo de tubos e a temperatura de saída do ar?

6) 0,2 kg/s de água a 30° C penetram em um tubo horizontal de aço ( $\Phi_e = 30 \text{ mm}$  e  $\Phi_i = 25 \text{ mm}$ , de 15 metros de comprimento), o qual passa pelo interior de um condensador no qual existe vapor d'água a 1 atm. Verificar a temperatura na saída da água, o calor trocado e a quantidade de vapor condensado. Represente em um gráfico as temperaturas da água, da parede e do vapor ao longo do tubo.

7) Uma placa de circuitos quadrada de 0,15m é resfriada em uma posição vertical, como mostra a figura. A placa tem um lado isolado e o outro com 100 chips quadrados, montados com pequeno espaçamento entre eles. Cada chip dissipa 0,06W de energia. A placa está exposta ao ar a 25° C e a temperatura máxima permitida para o chip é de 60° C. Qual das opções a seguir é a mais eficiente em termos de garantir a temperatura limite?

- a) convecção natural  
 b) resfriamento a ar com fluxo ascendente a uma velocidade de 0,5 m/s e  
 c) resfriamento a ar com fluxo descendente a uma velocidade de 0,5 m/s.

Dicas: a) Caso necessário estime a temperatura no meio da placa e utilize esta temperatura como referência no processo iterativo.

b) Para convecção combinada (natural e forçada), pode-se estimar o número de Nusselt médio por:

$$Nu^{0.3} = Nu_{forçada}^{0.3} \pm Nu_{natural}^{0.3}$$

8) Um tubo de parede fina, horizontal, com diâmetro de 25,4 mm e 20 m de comprimento, é utilizado para transportar amostra de gás de exaustão de uma chaminé para o laboratório de análise em uma construção vizinha em São Paulo (0,98 bar). O gás entra no tubo a 400° C e 2 atm, com uma vazão de 30 g/s. Admita que o ar externo esteja parado, a 15° C, que a radiação seja desprezível e que a perda de carga no tubo seja pequena. Considere as propriedades termofísicas do gás de exaustão como sendo iguais às do ar.

- a) Estime o coeficiente médio de transferência de calor para o gás de exaustão escoando no interior do tubo. c) Estime o coeficiente global U de transferência de calor  
 b) Estime o coeficiente de transferência de calor para o ar escoando transversalmente ao tubo. d) Verifique a temperatura do gás de exaustão na chegada ao laboratório  
 e) Calcule o calor cedido pelo gás de exaustão.

9) Deseja-se avaliar o processo de aquecimento de uma barra de aço inox 304 ( $k = 17,4 \text{ W/mK}$  e  $\alpha = 4,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) de 2cm de base, 1cm de altura e 1 m de comprimento. A barra, inicialmente a 30° C, é assentada em um forno a vácuo, a 0,2 atm, com piso isolado, onde a corrente de ar está a 700° C e circula longitudinalmente à barra, com uma velocidade média de 5 m/s. Pede-se:

- a) o coeficiente de convecção médio sobre a barra;  
 b) o tempo necessário para a superfície externa da barra atingir 350° C; e  
 c) o critério usado para a determinação de propriedades do ar sobre a barra.

10) Um conjunto de 100 chips cúbicos idênticos, justapostos e alinhados, de 1cm de aresta, são isolados em faces opostas, preparadas para sua união, e resfriados nas demais faces por uma corrente de ar a 0,4 atm e 24° C. Os chips dissipam a mesma energia, que pode ser considerada uniformemente distribuída em seu volume. Entretanto, a sua temperatura superficial não pode ultrapassar de 120° C, o que se consegue com uma velocidade do ar de 40 m/s no sentido da linha do conjunto.

(1) Desprezando o efeito da tridimensionalidade do escoamento nas arestas da linha, e admitindo a temperatura constante na seção transversal da linha de chips,

- a) estime a máxima potência que pode ser dissipada por um chip e pelo conjunto;  
 b) verifique a temperatura máxima no primeiro e no 90° chip da linha e.  
 c) apresente a distribuição de temperatura superficial ao longo da linha.

(2) Seria melhor utilizar uma corrente de ar cruzada? Qual a velocidade necessária para dissipar a mesma potência anterior?

(3) Admitindo uma flutuação da velocidade de 2%, qual seria a variação na temperatura superficial nos dois casos?

Exponha as hipóteses empregadas, inclusive o emprego de temperaturas de referência.