



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TM-225 Linguagem de Programação I

Professor Luciano Kiyoshi Araki

(sala 7-30/Lena-2, lucaraki@ufpr.br, lucianoaraki@gmail.com, fone: 3361-3126)

Internet: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM225/luciano>

LISTA DE EXERCÍCIOS 01 (2013/1)

(TURMA A)

OBSERVAÇÕES:

- (1) Esta lista deve ser executada individualmente ou em duplas. Informe, dentro do arquivo eletrônico, o nome do(s) executor(es) da lista, preferencialmente na plan01.**
- (2) Apresentar o trabalho na forma de arquivo eletrônico, pessoalmente ou por e-mail. Em cada planilha do arquivo deve ser apresentada uma única questão. Identifique de modo claro cada equação/consideração/dado de entrada utilizado.**
- (3) Os dados de entrada fornecidos (temperaturas, velocidades e demais propriedades físicas) devem ser informados uma única vez em cada questão. Utilizar referências absolutas onde couber; na ausência de referências absolutas, haverá desconto no conceito final.**
- (4) Determinadas variáveis possuem definições diferentes em cada questão. Isto se deve ao fato de que, na elaboração das questões, foi adotada a simbologia mais comumente empregada para cada conceito/caso. Portanto, atenção na simbologia de cada questão.**
- (5) DATA DE ENTREGA: 31/07/2013 (quarta-feira).**

QUESTÃO 1 (valor: 30).

Mancais são elementos de máquinas muito utilizados em projetos mecânicos. Em uma concepção mais ampla, o termo mancal pode ser empregado sempre que duas partes possuem movimento relativo, não importando sua forma ou configuração. Em geral, costuma-se dividir

os mancais em duas grandes classes: os de deslizamento e os de rolamento. Observa-se, no entanto, que para ambas as classes normalmente se faz necessária sua lubrificação, de modo a reduzir o atrito e remover o calor que ocorre quando do movimento relativo entre as duas partes que compõem o mancal.

Considere-se um mancal radial de deslizamento, conforme mostrado na figura a seguir:

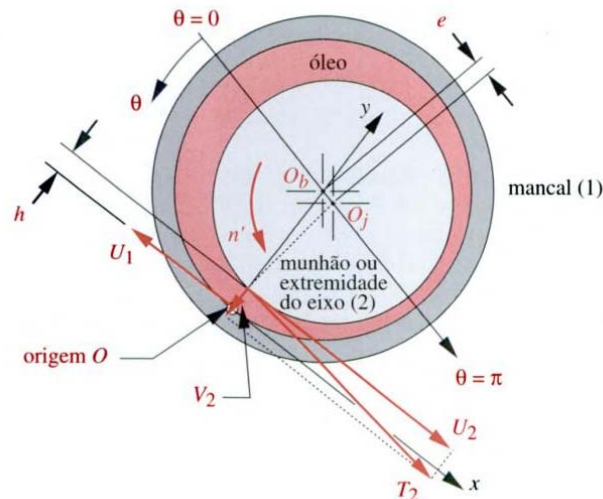


Fig. 1.1: Componentes de velocidade em um mancal de eixo excêntrico.

Nesse mancal, escolhe-se a origem do sistema de coordenadas xy em qualquer ponto na circunferência do mancal, como no ponto O . O eixo das coordenadas x é então tangente ao mancal, enquanto o eixo de coordenadas y atravessa o centro do mancal O_b e o eixo de coordenadas z (não mostrado) é paralelo ao eixo geométrico do mancal. Geralmente, o mancal é estacionário e apenas o eixo roda, mas em alguns casos o contrário pode ocorrer, ou ambos podem rodar. Mostra-se, assim, uma velocidade U_1 para o mancal bem como uma velocidade tangencial T_2 para o eixo. Observa-se que as direções (ângulos) não são os mesmos devido à excentricidade (e), que se constitui na distância entre as posições dos centros dos dois componentes do mancal. A excentricidade pode ser escrita em sua forma adimensional (ε), ou seja,

$$\varepsilon = \frac{e}{c_r}, \quad (1.1)$$

onde c_r é a folga radial, definida a partir da folga diametral (c_d), através da seguinte expressão:

$$c_r = \frac{c_d}{2}, \quad (1.2)$$

sendo que, por sua vez, a folga diametral (c_d) pode ser avaliada através da diferença entre os diâmetros do mancal (d_1) e do eixo (d_2):

$$c_d = d_1 - d_2. \quad (1.3)$$

Na Fig. 1.1, tem-se ainda a velocidade tangencial U_1 para o mancal, bem como a velocidade tangencial T_2 para o eixo. Deve-se observar que as direções (ângulos) não são as mesmas devido à excentricidade. A velocidade tangencial T_2 do eixo pode ser decomposta em componentes nas direções x e y como U_2 e V_2 , respectivamente. O ângulo entre T_2 e U_2 é tão pequeno que a aproximação $\cos\theta \approx 1$ pode ser realizada sem problemas, de tal modo que se considere $U_2 = T_2$. A componente V_2 na direção y se deve ao fechamento (ou abertura) do intervalo h à medida que ele roda e tem-se que

$$V_2 = U_2 \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1.4)$$

Com base nas hipóteses anteriores, pode-se escrever a equação de Reynolds relacionando a mudança do intervalo de espessura h , as velocidades relativas entre o eixo e o mancal V_2 e $U_1 - U_2$ e a pressão no fluido p como uma função das duas dimensões x e z , supondo-se que o eixo e o mancal sejam paralelos na direção z e que a viscosidade η seja constante, ou seja,

$$\begin{aligned} \frac{1}{6\eta} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) \right] &= (U_1 - U_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 2V_2 \\ &= (U_1 - U_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 2U_2 \frac{\partial h}{\partial x} = (U_1 + U_2) \frac{\partial h}{\partial x} = U \frac{\partial h}{\partial x} \end{aligned} \quad (1.5)$$

onde $U = U_1 + U_2$. Ao se considerar um mancal infinitamente longo na direção z , tem-se que o fluxo se torne nulo e a distribuição nessa direção seja constante, de modo que $\partial p / \partial z = 0$.

Desse modo, a equação de Reynolds se reduz a

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 6\eta U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1.6)$$

cuja solução analítica foi proposta por Sommerfeld, em 1904,

$$p = \frac{\eta U r}{c_r^2} \left[\frac{6\varepsilon (\sin \theta)(2 + \varepsilon \cos \theta)}{(2 + \varepsilon^2)(1 + \varepsilon \cos \theta)^2} \right] + p_0 \quad (1.7)$$

que fornece a pressão p no filme de lubrificante como uma função da posição angular θ ao redor do mancal para dimensões particulares do raio r do eixo, folga radial c_r , razão de excentricidade ε , velocidade da superfície U e viscosidade η .

Com base nas informações anteriores, calcule a pressão em um mancal longo, cuja solução foi proposta por Sommerfeld (Eq. 1.7). Para tanto, empregue ângulos entre 0 e 180° , com variação de 5° , pressão p_0 de 0 , raio do eixo $r = d_2/2 = 0,100$ m, diâmetro do mancal $d_1 = 0,205$ m, excentricidade e de 5×10^{-4} m, velocidade U de 10 m/s e como lubrificante, foi empregado um óleo SAE 10W, cuja viscosidade η a 20°C é de 1×10^{-1} Ns/m². Com os dados obtidos, plote um gráfico de pressão [Pa] *versus* ângulo [graus].

QUESTÃO 02 (valor: 25).

Dentre os mecanismos de transferência de calor, a radiação é a único que não necessita de um meio material para ocorrer. Para sua modelagem, são estudadas as propriedades de corpos negros, que se constituem em corpos ideais, que apresentam como características:

- (1) Trata-se de um absorvedor ideal (o corpo negro absorve toda a energia nele incidente).
- (2) Trata-se de um emissor ideal (nenhum corpo, à mesma temperatura, é capaz de emitir mais energia que um corpo negro).
- (3) Trata-se de um emissor difuso (não existe direção preferencial na emissão de um corpo negro).

Para o estudo da emissão de um corpo negro, Planck (em 1900), determinou uma expressão para a chamada intensidade espectral de um corpo negro ($I_{\lambda, cn}$)

$$I_{\lambda, cn}(\lambda, T) = \frac{2hc_o^2}{\lambda^5 [\exp(hc_o/\lambda kT) - 1]}, \quad (2.1)$$

que é uma função do comprimento de onda λ , dado em micrômetros [μm], e da temperatura absoluta T , dado em Kelvins [K]. Na Eq. (2.1), tem-se que: h é a constante universal de Planck, cujo valor é de $6,626 \times 10^{-34}$ J·s; k é a constante universal de Boltzmann, cujo valor é de $1,381 \times 10^{-23}$ J/K; e c_o é a velocidade da luz no vácuo, cujo valor aproximado é de $2,998 \times 10^8$ m/s. A partir da integração da Eq. (1) sobre para uma superfície hemisférica, obtém-se o chamado poder emissivo espectral ($E_{\lambda, cn}$), dado por

$$E_{\lambda, cn}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc_o^2}{\lambda^5 [\exp(hc_o/\lambda kT) - 1]}. \quad (2.2)$$

Com base na Eq. (2.2), plote um gráfico log-log com o poder emissivo espectral $E_{\lambda, cn}$ [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{m}$] em função do comprimento de onda λ [m]. Considere os seguintes valores para a temperatura T : 50 K, 100 K, 300 K, 1000 K, 3000 K, 6000 K. Para a plotagem do gráfico, utilize comprimentos de onda entre 0,1 e 1000 μm e no caso dos valores do poder emissivo espectral, apresente apenas os valores superiores a 1 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{m}$.

Dica: Busque na internet qual o formato para o gráfico de poder emissivo espectral de um corpo negro, para que seu gráfico não fique em demasiado diferente do esperado.

QUESTÃO 03 (valor: 45).

A condução de calor em superfícies estendidas (aletas) é um importante caso estudado em transferência de calor, envolvendo a condução de calor no interior de um sólido e a convecção (e/ou radiação) nas fronteiras desse sólido. Tais superfícies são empregadas para aumentar o calor trocado entre um sólido e um fluido (ou ambiente), pela maximização da área de contato em que ocorre o processo de transferência de calor. Aletas são comumente observadas em refrigeradores, radiadores de automóveis/motocicletas e computadores (coolers), entre outras

aplicações. Matematicamente, o fenômeno é modelado através da seguinte equação diferencial (Incropera et al., 2008):

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \left(\frac{1}{A_{tr}} \frac{dA_{tr}}{dx} \right) \frac{dT}{dx} - \left(\frac{1}{A_{tr}} \frac{h}{k} \frac{dA_s}{dx} \right) (T - T_\infty) = 0, \quad (3.1)$$

sendo T a temperatura [K]; x a posição ao longo da aleta [m]; A_{tr} a área da seção transversal da aleta [m²]; h o coeficiente convectivo [W/m²K]; k a condutividade térmica do material da aleta [W/mK]; A_s a área superficial em contato com o fluido [m²]; e T_∞ a temperatura do fluido [K]. No caso de uma aleta de seção transversal uniforme, a equação anterior pode ser simplificada fornecendo:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hP}{kA_{tr}} (T - T_\infty) = 0, \quad (3.2)$$

onde P é o perímetro da seção transversal da aleta [m]. Essa equação diferencial apresenta solução analítica, considerando-se as propriedades constantes. No caso mais realístico, que envolve a transferência de calor convectiva na ponta da aleta, obtém-se a seguinte expressão:

$$T(x) = T_\infty + (T_b - T_\infty) \frac{\cosh[m(L-x)] + \left(\frac{h}{mk} \right) \sinh[m(L-x)]}{\cosh(mL) + \left(\frac{h}{mk} \right) \sinh(mL)}, \quad (3.3)$$

sendo T_b a temperatura da base da aleta [K]; L o comprimento total da aleta [m]; e m um parâmetro adimensional, estimado através da seguinte relação:

$$m = \left(\frac{hP}{kA_{tr}} \right)^{1/2}. \quad (3.4)$$

Já o desempenho da aleta é verificado estimando-se sua eficiência, que relaciona a taxa real de trocas térmicas ocorridas na aleta com a taxa máxima teórica, que seria obtida se toda a aleta possuísse a mesma temperatura observada em sua base. Considerando-se uma aleta do

tipo plana, com seção transversal retangular, a eficiência (η) pode ser estimada pela seguinte expressão

$$\eta = \frac{\tanh(mL_c)}{mL_c}, \quad (3.5)$$

onde L_c é o comprimento corrigido da aleta [m], dado por $L_c = L + (t/2)$, sendo t a espessura da aleta [m].

1. A partir das informações anteriores, considere uma aleta retangular, de cobre ($k = 400$ W/mK), de comprimento $L = 0,200$ m, perímetro $P = 0,110$ m, área de seção transversal $A_{tr} = 2,5 \times 10^{-4}$ m² e espessura $t = 0,005$ m. Esta aleta possui temperatura de base $T_b = 400$ K, estando imersa em um ambiente cuja temperatura é $T_\infty = 300$ K e que oferece um coeficiente convectivo $h = 100$ W/m²K. Neste contexto, calcule a temperatura em cada ponto da aleta, para intervalos de 0,005 m. A seguir, faça um gráfico da temperatura (eixo vertical) *versus* posição.
2. Mantenha todas as informações do item anterior inalteradas, exceto pelo comprimento L , que apresentará uma faixa de valores, variando de 0,020 a 0,500 m, com um passo de 0,020 m. Neste contexto, calcule a temperatura na extremidade da aleta ($x = L$) e compare o valor obtido com o caso limite, no qual considera-se uma aleta de comprimento infinito. No caso de uma aleta de comprimento infinito, a temperatura é obtida através da seguinte expressão

$$T(x) = T_\infty + (T_b - T_\infty) \exp(-mx) \quad (3.6)$$

e informe se a diferença entre a temperatura dada pela expressão (3.3) e a dada pela expressão (3.4) é inferior a 1% (tolerância). Utilize, para tanto, a função lógica "se". A diferença percentual é definida como:

$$dif = \left| \frac{T_{x=L}|_{convectiva} - T_{x=L}|_{comp.infinito}}{T_{x=L}|_{convectiva}} \right| \times 100\% \quad (3.7)$$

3. Mantenha todas as informações do item (1) inalteradas, exceto pelo comprimento L da aleta, que apresentará uma faixa de valores, variando de 0,000 a 0,500 m, com um passo de 0,025 m. Neste contexto, calcule a eficiência da aleta, para cada comprimento. Plote um gráfico da eficiência (eixo vertical) *versus* α , sendo α definido como

$$\alpha = L_c^{3/2} \left(\frac{h}{k L_c t} \right)^{1/2} . \quad (3.8)$$