



Exercício Resolvido de Mola

1) Projete uma mola de compressão para carregamento dinâmico cuja força mínima é de 80lb e força máxima de 180lb, e deflexão de trabalho de 1,25in.

Dados: arame ASTM A232
Pré-assentamento e jateamento
Extremidades quadradas planas
 $G = 11,5 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$
Densidade do material = 0,285lb/in³
Frequência de excitação = 1280rpm
Vida = 12anos
1 ano = 2080h

Premissas:

Considere $C=5$ e $d=0,192$ in

Resolução:

- Número de ciclos da mola:

$$N_{vida} = 1280 \text{ RPM} * \left(\frac{60 \text{ min}}{h} \right) * \left(2080 \frac{\text{hora}}{\text{turno: ano}} \right) * (12 \text{ anos})$$
$$= 1.917 \text{ milhoes de ciclos}$$

- Força Alternada e Média na mola:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = \frac{180 - 80}{2} = 50 \text{ lb}$$
$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} = \frac{180 + 80}{2} = 130 \text{ lb}$$

- Diâmetro médio da espira:

$$D = C * d = 5 * 0,192 = 0,96 \text{ in}$$

- Fator de Cisalhamento K_s , Tensão Inicial e Tensão Média:

$$K_s = 1 + \frac{0,5}{C} = 1 + \frac{0,5}{5} = 1,1$$

$$\tau_i = K_s \cdot \frac{8 \cdot F_i \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1,1 \cdot \frac{8 \cdot 80 \cdot 0,96}{\pi \cdot 0,192^3} = 30394 \text{ psi}$$

$$\tau_m = K_s \cdot \frac{8 \cdot F_m \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1,1 \cdot \frac{8 \cdot 130 \cdot 0,96}{\pi \cdot 0,192^3} = 49391 \text{ psi}$$

- Fator de Wahl K_w , Tensão Alternada:

$$K_w = \frac{4.C - 1}{4.C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4.5 - 1}{4.5 - 4} + \frac{0,615}{5} = 1,31$$

$$\tau_a = K_w \cdot \frac{8.F_a.D}{\pi.d^3} = 1,31 \cdot \frac{8.50.0,96}{\pi.0,192^3} = 22623 \text{ psi}$$

- Limite de resistência a tração, Limite de resistência ao cisalhamento e Limite de resistência a torção (deformação residual removida):

$$S_{ut} = A.d^b = 173128.(0,192)^{-0,1453} = 220041 \text{ psi}$$

$$S_{us} = 0,67.S_{ut} = 0,67.220041 = 147427 \text{ psi}$$

$$S_{ys} = 0,65.S_{ut} = 0,65.220041 = 143027 \text{ psi}$$

- Limite de resistência a fadiga (molas jateadas):

$$S_{ew} = 67500 \text{ psi}$$

$$S_{es} = 0,5 \cdot \frac{S_{ew} \cdot S_{us}}{S_{us} - 0,5 \cdot S_{ew}} = 0,5 \cdot \frac{67500 \cdot 147427}{147427 - 0,5 \cdot 67500} = 43770 \text{ psi}$$

- Coeficiente de Segurança a Fadiga:

$$N_f = \frac{S_{es} \cdot (S_{us} - \tau_i)}{S_{es} \cdot (\tau_m - \tau_i) + S_{us} \cdot \tau_a} = \frac{43770 \cdot (147427 - 30394)}{43770 \cdot (49391 - 30394) + 147427 \cdot 22623} = 1,23$$

- Constante da Mola:

$$k = \frac{\Delta F}{y} = \frac{180 - 80}{1,25} = 80 \text{ lb/in}$$

- Número de espiras ativas:

$$N_a = \frac{d^4 \cdot G}{8.D^3 \cdot k} = \frac{0,192^4 \cdot 11,5e6}{8 \cdot 0,96^3 \cdot 80} = 27,6 \quad N_a = 27,5$$

- Constante da Mola Corrigida:

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8.D^3 \cdot N_a} = \frac{0,192^4 \cdot 11,5e6}{8 \cdot 0,96^3 \cdot 27,5} = 80,3 \text{ lb/in}$$

- Número total de espiras (extremidades esquadrejadas e esmerilhadas)

$$N_t = N_a + 2 = 27,5 + 2 = 29,5 \text{ espiras}$$

- Comprimento Fechado

$$L_s = d \cdot N_t = 0,192 \cdot 29,5 = 5,664 \text{ in}$$

- Deflexão inicial

$$y_{inicial} = \frac{F_i}{k} = \frac{80}{80,3} = 0,996 \text{ in}$$

- Tolerância de Contato (15%):

$$y_{interf} = 0,15 \cdot y = 0,15 \cdot 1,25 = 0,1875 \text{ in}$$

- Comprimento Livre:

$$L_f = L_s + y_{inicial} + y + y_{interf} = 5,664 + 0,996 + 1,25 + 0,1875 = 8,0975 \text{ in}$$

- Deflexão Máxima e força máxima:

$$y_{max} = L_f - L_s = 8,0975 - 5,664 = 2,4335 \text{ in}$$

$$F_{max} = k \cdot y_{max} = 80,3 \cdot 2,4335 = 195,4 \text{ lb}$$

- Tensão máxima fechada e coeficiente de segurança:

$$\tau_{max} = K_s \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1,1 \cdot \frac{8 \cdot 80 \cdot 0,96}{\pi \cdot 0,192^3} = 74238 \text{ psi}$$

$$N_{fechado} = \frac{S_{ys}}{\tau_{max}} = \frac{143027}{74238} = 1,93$$

- Frequência natural da mola:

$$w = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \gamma}{4} = \frac{\pi^2 \cdot 0,192^2 \cdot 0,96 \cdot 27,5 \cdot 0,285}{4} = 0,6845 \text{ lb}$$

$$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k \cdot g}{w}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{80,3 \cdot 386}{0,6845}} = 106,4 H_z = 6384,5 \text{ ciclos/min}$$

$$\frac{\text{frequência natural}}{\text{frequência aplicada}} = \frac{6384,5}{1280} = 4,98 \text{ (É menor que 13 vezes, porém aceitável)}$$

- Verificação de flambagem: Considerando $\frac{L_f}{D} = \frac{8,0975}{0,96} = 8,4$ e

$$\frac{y_{max}}{L_f} = \frac{2,4335}{8,0975} = 0,3 \text{ (fig.13-14, Norton): } \rightarrow \text{Não estável}$$

Portanto, deve-se refazer o dimensionamento!!!