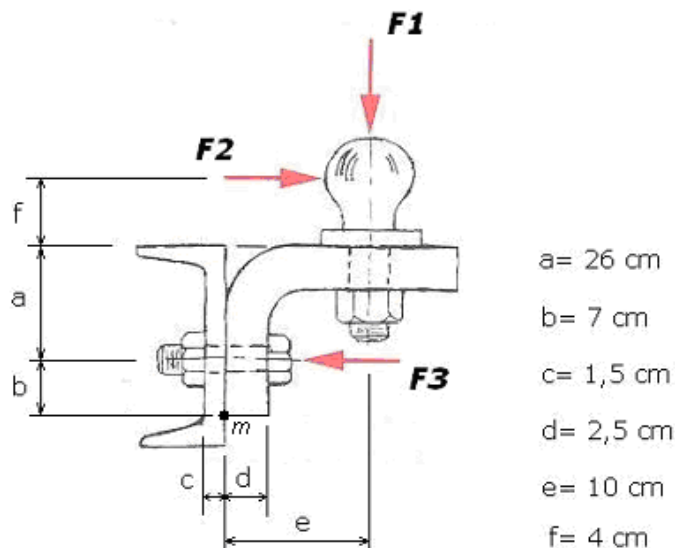


### Exercícios Resolvidos de Junções

- 1) Dado o esquema de forças  $F_1=480\text{N}$  e  $F_2=730\text{N}$  exercidas pelo engate:
- Determine a força realizada no parafuso,  $F_3$ , para que o sistema se mantenha acoplado;
  - Determine o coeficiente de segurança para a junção de acordo com as seguintes especificações:  
Padrão ISO – rosca normal  
Classe 5.8 ( $d = 7\text{ mm}$ )  
Pré-carga = 90% resistência de prova  
Conjunto de aço



### Resolução:

- Para o esquema da figura:

$$\sum M_m = 0 \Rightarrow F_3 \cdot b = F_2(f + a + b) + F_1 \cdot e$$

$$F_3 = \frac{730(4 + 26 + 7) + 480(10)}{7} \rightarrow F_3 = 4544,3\text{N}$$

- Supondo:  $d = 7\text{ mm}$  (diâmetro maior do parafuso), ou seja, parafuso M7 onde:

Passo:  $p = 1\text{ mm}$  (rosca normal)

Diâmetro menor (raíz):  $d_r = 5,77\text{ mm}$  (rosca normal)

Área sob tração:  $A_t = 28,86\text{ mm}^2$  (rosca normal)

Assumindo comprimento do parafuso de 5 cm, visto que o comprimento da junta (sujeitado) é de 4 cm.

### 1)Pré-carga:

Considerando a classe ISO 5.8, a resistência mínima de prova é de  $S_p = 380 MPa$ . Sabendo que a pré-carga realizada é de 90% da resistência de prova, tem-se então:

$$F_i = 0,9 \cdot S_p \cdot A_t = 0,9(380 \cdot 10^6)(28,86)(10^{-3})^2 \rightarrow F_i = 9870,12 N$$

### 2)Comprimento de rosca ( $l_{rosca}$ ) e comprimento sem rosca ( $l_s$ ) do parafuso:

- $l_{rosca} = 2d + 0,25(2,54) = 2(7 \cdot 10^{-1}) + 0,25(2,54) \rightarrow l_{rosca} = 2,035 cm$
- $l_s = l_{parafuso} - l_{rosca} = 5 - 2,035 \rightarrow l_s = 2,965 cm$
- $l_t = l - l_s = 4 - 2,965 = 1,035 cm$  (comprimento da rosca dentro da junta, ou seja, dentro da zona de sujeição)

### 3)Rigidez do parafuso:

Considerando o módulo de elasticidade do aço como  $E = 206,8 GPa$  (Tabela C-1)

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E} + \frac{l_s}{A_b E} = \frac{1,035 \cdot 10^{-2}}{28,86(10^{-3})^2(206,8 \cdot 10^9)} + \frac{2,965 \cdot 10^{-2}}{(\pi/4)(7 \cdot 10^{-3})^2(206,8 \cdot 10^9)}$$
$$\rightarrow k_b = 0,1832 \cdot 10^9 N/m$$

### 4)Rigidez do material da junta (material sujeitado):

Fazendo uma estimativa da região comprimida por um parafuso com cabeça, com base no modelo da figura 14-31 (norton) ou figura 5 (Slide 19 e 20):

$$d = 7 mm; \quad d_2 = 2.0d; \quad d_3 = 2.0d + l_m \cdot \tan \phi$$

$$l_m = 40 mm; \quad d_2 = 14 mm; \quad d_3 = 37,1 mm$$

$$A_m = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 - d^2 \right] = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{0,014 + 0,0371}{2} \right)^2 - 0,007^2 \right] = 4,742 \times 10^{-4} m^2$$

$$\frac{1}{k_m} = \frac{l_1}{A_{m1} \cdot E_1} + \frac{l_2}{A_{m2} \cdot E_2} = \frac{0,015}{(4,742 \times 10^{-4})(206,8 \times 10^9)} + \frac{0,025}{(4,742 \times 10^{-4})(206,8 \times 10^9)}$$

$$\rightarrow k_m = 2,45 \times 10^9 N/m$$

### 5)Fator de rigidez da junta:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \rightarrow C = \frac{0,1832}{2,45 + 0,1832}$$

$$\rightarrow C = 0,07$$

### 6)Porções da força aplicada $F_3$ sentidas pelo parafuso e material da junta (sujeitado):

- $F_{3b} = C \cdot F_3 \rightarrow F_{3b} = 0,07 \cdot 4544,3 \rightarrow F_{3b} = 318,1N$
- $F_{3m} = (1 - C) \cdot F_3 \rightarrow F_{3m} = (1 - 0,07) \cdot 4544,3 \rightarrow F_{3m} = 4226,2N$

7) Forças atuantes no parafuso e material após aplicação da força  $F_3$ :

- $F_b = F_i + F_{3b} \rightarrow F_b = 9870,12 + 318,1 \rightarrow F_b = 10188,22N$
- $F_m = F_i - F_{3m} \rightarrow F_m = 9870,12 - 4226,2 \rightarrow F_m = 5643,92N$

8) Máxima tensão de tração no parafuso:

$$\sigma = \frac{F_b}{A_t} = \frac{10188,22}{28,86 \cdot 10^{-6}} = 353,02 MPa$$

9) Coeficiente de segurança contra escoamento:

Para um parafuso com número de classe 5.8 a resistência mínima de escoamento é de 420 MPa, então,

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} = \frac{420}{353,02} = 1,19$$

10) Carga necessária para separar a junta:

$$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)} \rightarrow P_0 = \frac{9870,12}{(1 - 0,07)} \rightarrow P_0 = 10613,03N$$

11) Coeficiente de segurança contra a separação da junta:

$$N_{separação} = \frac{P_0}{P} = \frac{10613,03}{4544,3} = 2,33$$

2) De acordo com o exercício anterior, determine os coeficientes de segurança contra fadiga, escoamento e separação, para um carregamento dinâmico que varia entre  $P=0$  e  $P=F_3$  ( $F_3$  encontrado no exercício 1), considerando agora uma pré-carga de 75% da resistência de prova.

**Dados:** Confiabilidade: 99,9%  
 Temperatura de operação: 400°F  
 Rosca cortada, superfície usinada

### Resolução:

Do exercício anterior:

Resistência de prova:  $S_p = 380 MPa$

Área sob tensão de tração:  $A_t = 28,86 mm^2$

Rigidez do parafuso:  $k_b = 0,1832 \cdot 10^9 N/m$

Rigidez do material da junta:  $k_m = 2,45 \cdot 10^9 N/m$

Constante da junta:  $c = 0,07$

As porções do valor de pico da carga variada  $P$  ( $P = F_3$ ) sentidos pelo parafuso e material são:

- $P_b = C \cdot P \rightarrow P_b = 0,07 \cdot 4544,3 \rightarrow P_b = 318,1 N$
- $P_m = (1 - C) \cdot P \rightarrow P_m = (1 - 0,07) \cdot 4544,3 \rightarrow P_m = 4226,2 N$

1)Pré-carga:

Considerando a classe ISO 5.8, a resistência mínima de prova é de  $S_p = 380 MPa$

. Sabendo que a pré-carga realizada é de 75% da resistência de prova, tem-se então:

$$F_i = 0,75 S_p A_t \rightarrow F_i = 0,75(380)(28,86 \cdot 10^{-6}) = 8225,0 N$$

2) As cargas resultantes no parafuso e material após aplicação da pré-carga são:

- $F_b = F_i + P_b \rightarrow F_b = 8225,0 + 318,1 \rightarrow F_b = 8543,1 N$
- $F_m = F_i - P_m \rightarrow F_m = 8225,0 - 4226,2 \rightarrow F_m = 3998,8 N$

3)Como essas cargas são variadas, calcula-se as componentes média e alternante da força sentida no parafuso:

$$F_a = \frac{F_b - F_i}{2} \rightarrow F_a = \frac{8543,1 - 8225}{2} = 159,05 N$$

$$F_m = \frac{F_b + F_i}{2} \rightarrow F_m = \frac{8543,1 + 8225,0}{2} = 8384,1 N$$

4)As tensões média e alternante no parafuso:

$$\sigma_{a,nom} = \frac{F_a}{A_t} \rightarrow \sigma_{a,nom} = \frac{159,05}{28,86 \cdot 10^{-6}} = 5,51 MPa$$

$$\sigma_{m,nom} = \frac{F_m}{A_t} \rightarrow \sigma_{m,nom} = \frac{8384,1}{28,86 \cdot 10^{-6}} = 290,5 MPa$$

5) Fator de concentração de tensão à fadiga:

Supondo que o parafuso possua roscas cortadas, então:  $k_f = 2,8$

Para determinar o fator de concentração de tensão, relativo à tensão média em fadiga ( $k_{fm}$ ), tem-se que:

- $k_f \cdot |\sigma_{\max, \text{nom}}| = k_f \cdot |\sigma_{a, \text{nom}} + \sigma_{m, \text{nom}}| = 2,8 \cdot |5,51 + 290,5| = 828,83 \text{ MPa}$
- Sendo o limite de escoamento  $S_y = 420 \text{ MPa}$ , então:

$$\text{Como } k_f \cdot |\sigma_{\max, \text{nom}}| > S_y \rightarrow k_{fm} = \frac{420 - 2,8(5,51)}{5,51 + 290,5} = 1,37$$

6) As tensões reais alternada e média no parafuso são:

$$\sigma_a = 2,8 \cdot 5,51 = 15,43 \text{ MPa} \quad \sigma_m = 1,37 \cdot 290,5 = 398,0 \text{ MPa}$$

7) A tensão correspondente à pré-carga inicial:

$$\sigma_i = k_{fm} \frac{F_i}{A_t} \rightarrow \sigma_i = 1,37 \frac{8225,0}{28,86 \cdot 10^{-6}} = 390,44 \text{ MPa}$$

8) Limite de resistência à fadiga:

$$\text{Aço} \rightarrow S'_e = 0,5 \cdot S_{ut} = 0,5(520) = 260 \text{ MPa}$$

$$S_e = C_{\text{carreg}} \cdot C_{\text{tamanho}} \cdot C_{\text{superf}} \cdot C_{\text{temp}} \cdot C_{\text{conf}} \cdot S'_e$$

- $C_{\text{carreg}} = 0,70 \rightarrow$  força normal
- $C_{\text{tam}} = 1$  para  $d = 7 \text{ mm}$
- $C_{\text{sup}} = 4,51(520)^{-0,265} = 0,86$
- $C_{\text{temp}} = 1 \rightarrow$  temperatura não é elevada ( $< 450^\circ\text{C}$ )
- $C_{\text{conf}} = 0,753 \rightarrow 99,9\%$  de confiabilidade

$$\text{Então: } S_e = 0,7 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 1 \cdot 0,753 \cdot 260$$

$$S_e = 117,86 \text{ MPa}$$

9) Coeficiente de segurança  $N_f$  com base no diagrama de Goodman:

$$N_f = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{S_e(\sigma_m - \sigma_i) + S_{ut}\sigma_a}$$

$$\rightarrow N_f = \frac{117,86(520 - 390,44)}{117,86(398,0 - 390,44) + 520(15,43)} = 1,71$$

10) Coeficiente de segurança contra escoamento:

$$\sigma = \frac{F_b}{A_t} = \frac{8543,1}{28,86 \cdot 10^{-6}} = 296,02 \text{ MPa}$$

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} = \frac{420}{296,02} = 1,42$$

11) Coeficiente de segurança para separação da junta:

$$N_{separacao} = \frac{F_i}{P(1-C)} \rightarrow N_{separacao} = \frac{8225,0}{4544,3(1-0,07)} = 1,94$$