

**Lista 8**

1) Um eixo de aço com 40 [mm] de diâmetro precisa ser unido a uma polia de aço por meio de uma união eixo-cubo com interferência transversal. O momento de torção a ser transmitido é de 1000 [kgf.cm]. Faça o dimensionamento completo, incluindo o croqui.

2) Idem ao caso anterior tendo-se, além de  $M_t$ , uma força axial de 200 [kgf].

3) Resolva novamente o exercício 1, usando agora uma união eixo-cubo com interferência longitudinal.

4) Uma polia bipartida de ferro fundido deve ser unida por atrito a um eixo de aço para transmitir um momento de torção de 5000 [kgf.cm]. São dados:

Diâmetro do eixo	→	$d = 60$ [mm]	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{adm} = 945 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \\ d_p = 12 \text{ [mm]} \\ d_{pi} = 9,73 \text{ [mm]} \end{array} \right.$
Parafusos da união	→	M12	
Coefficiente de atrito	→	$\mu = 0,20$	

5) Dimensione a união entre um eixo e um cubo, ambos de aço, usando assento cônico. Dados:

$M_t = 3000$  [kgf.cm]  
 $d_{med} = 50$  [mm]  
 usar união de fácil desmontagem

6) Uma polia bipartida de ferro fundido deve ser unida a um eixo de aço para transmitir um momento de torção  $M_t = 5.000$  [kgf.cm]. São dados:

diâmetro do eixo	→	$d = 60$ [mm]	$\left\{ \begin{array}{l} d = 12 \text{ [mm]} \\ d_i = 9,73 \text{ [mm]} \\ S_i = 74,3 \text{ [mm}^2\text{]} \end{array} \right.$
parafusos usados na união	→	M18	
Material do parafuso	→	St 3813, $\sigma_{adm} = 9,45$ [kgf/mm <sup>2</sup> ]	
coeficiente de atrito	→	$\mu = 0,2$	
pressão específica admissível do material do cubo	→	$p_{adm} = 300$ [kgf/cm <sup>2</sup> ]	

7) Um eixo de aço deve ser unido a uma polia de aço por meio de ajuste forçado transversal para transmitir um  $M_t = 5000$  [kgf.cm]. Defina o ajuste necessário para a união. São dados:

diâmetro do eixo	$d = 40$ [mm]
diâmetro do cubo	$D = 80$ [mm]
comprimento do cubo	$L = 50$ [mm]

8) Usando os dados do exercício anterior, determine o ajuste necessário se a união for feita por meio de ajuste forçado longitudinal.

9) Dimensione a união entre um cubo de aço e um eixo de aço por meio de assento cônico, para obter fácil desmontagem e transmitir um  $M_t = 5000$  [kgf.cm]. São dados:

diâmetro médio do eixo	$d_{med} = 40$ [mm]
coeficiente de atrito	$\mu = 0,2$

10) Uma polia bipartida deve ser acoplada a um eixo de diâmetro  $d = 60$  [mm] para a transmissão por atrito de um momento de torção  $M_t = 3.000$  [kgf.cm]. O eixo é de aço e a polia de ferro fundido. Pretende-se usar na fixação das duas partes da polia 6 parafusos M18 (3 de cada lado; ver dimensões no enunciado do exercício 6 acima). Pede-se:

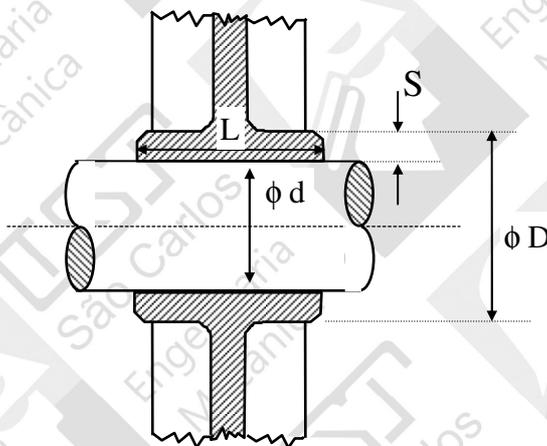
- verifique a resistência dos parafusos se a tensão admissível dos mesmos for :  $\sigma_{adm} = 500$  [kgf/cm<sup>2</sup>];
- determine o comprimento do cubo da polia.

11) Determine o ajuste necessário para a união de uma engrenagem e um eixo por ajuste forçado transversal por aquecimento do cubo, a fim de transmitir um momento de torção de valor  $M_t = 1500$  [kgf.cm]. São dados:

diâmetro do eixo	$d = 20$ [mm]
diâmetro do cubo	$D = 35$ [mm]
comprimento do cubo	$L = 20$ [mm]
eixo e cubo são de aço	
carga constante	

12) Determine qual a força tangencial  $H$  (mínima e máxima) que pode ser transmitida pela união de um eixo e um cubo por meio de ajuste forçado longitudinal, quando o ajuste definido para a união for  $H_7 z_6$ . São dados:

diâmetro do eixo	$d = 20$ [mm]
diâmetro do cubo	$D = 35$ [mm]
comprimento do cubo	$L = 20$ [mm]
eixo e cubo são de aço	

**Resolução da lista 8****Exercício 1****a) Dimensões principais**

O projeto de elementos de máquinas segue quase que invariavelmente a sequência: primeiro atribuem-se dimensões (sempre que possível obedecendo às normas ABNT ou DIN) e depois se verifica se elas são suficientes. No caso de cubos isto sempre acontece. As seguintes expressões são utilizadas para estimar as dimensões do cubo e, conseqüentemente, poder fazer o croqui inicial da união (atenção para as unidades; [kgf.cm]):

$$L = x\sqrt[3]{M_t} \text{ [cm]} \quad S = y\sqrt[3]{M_t} \text{ [cm]} \quad D = d + 2S \text{ [cm]}$$

Os valores de  $x$  e  $y$  são dados na tabela 18.1 [4, pg xx]. Neste caso obtém-se:  $x = (0,21$  a  $0,35)$  para cubos de aço e união por atrito (ajuste térmico e forçado) e adota-se  $x = 0,28$ .

Da mesma forma  $y = (0,18$  a  $0,26)$  e adota-se  $y = 0,22$ . Estima-se então:

$$L = x\sqrt[3]{M_t} = 0,28 \times \sqrt[3]{1000} = 2,8 \text{ [cm]}, \text{ recomenda-se arredondar para } L = 30 \text{ [mm]}$$

$$S = y\sqrt[3]{M_t} = 0,22 \times \sqrt[3]{1000} = 2,2 \text{ [cm]}, S = 22 \text{ [mm]}$$

$$D = d + 2S = 40 + 2 \times 22 = 84 \text{ [mm]}$$

**b) Força tangencial U**

A seguir calcula-se a força tangencial no eixo devida ao momento de torção:

$$U = \frac{2M_t}{d} = \frac{2 \times 100}{0,04} = 5000 \text{ [N]}$$

**c) Comprimento mínimo  $L_{\min}$** 

Para evitar esmagamento na interface entre eixo e cubo deve-se ter pressão específica menor que a pressão admissível  $p < p_{\text{admissível}}$ . Isto leva ao valor mínimo da largura do cubo.

$$L_{\min} = \frac{P_s}{p_{\text{adm}} \times d}, P_s = \frac{U}{\pi \times \mu}$$

Assume-se o coeficiente de atrito  $\mu = (0,15$  a  $0,30) \rightarrow 0,2$  e a pressão específica admissível  $p_{\text{adm}} = (50$  a  $90 \text{ [MPa]}) \rightarrow 70 \text{ [MPa]}$  para aço. A tabela 11.4 [4, pg xxx], que em tese serve para pressão específica em pinos, também pode ser usada como referência para valores mais precisos. A força de separação do cubo será:

$$P_s = \frac{5000}{\pi \times 0,2} = 7957,7 \text{ [N]}; \text{ e } L_{\min} = \frac{7957,7}{70 \times 10^6 \times 0,04} = 2,84 \times 10^{-3} \text{ [m]} = 2,84 \text{ [mm]}$$

O comprimento do cubo deve ser maior que qualquer  $L_{\min}$  usado em cálculos de verificação. Também deve ser no mínimo igual à largura da polia ou engrenagem e no máximo o dobro dela. No presente caso, tem-se  $L \gg L_{\min}$

**d) Forças de deslizamento e de retenção**

Para que a união por atrito funcione, é necessário que a força tangencial aplicada  $U$  seja menor ou igual à força de deslizamento  $H_R$ . No limite:

$$H_R \geq U. \text{ A força de deslizamento neste caso é igual a } H_R \geq U = 5000 \text{ [N]}$$

$$H_R = 0,47 H, \text{ assim a força de retenção é: } H = \frac{H_R}{0,47} = \frac{5000}{0,47} = 10638 \text{ [N]}$$

**e) Interferência mínima necessária**

Calcula-se a seguir qual a mínima interferência necessária  $u_m$  para transmitir a força de retenção, (ou seja: suportar a força tangencial). Usam-se  $L$  e  $D$  estimados acima.

$$u_m = \frac{H}{q_1 \cdot L \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^e \right]} = \frac{10638}{5 \times 10^4 \times 10^6 \times 0,03 \left[ 1 - \left( \frac{0,040}{0,084} \right)^2 \right]} = 9,17 \times 10^{-6} \text{ [m]}$$

$$u_m = 9,17 \mu\text{m}$$

sendo que os valores de  $e = 2$  e  $q_1 = 5 \times 10^4$  [MPa], são retirados da tabela 18.4 [4, pg 66].

**f) Interferência elástica máxima  $u_e$** 

Tem-se que manter a união por atrito dentro do regime elástico. Na tabela 18.4 (atenção para as unidades)

$$u_e = \frac{d \times 3,5}{1000} = \frac{40 \times 3,5}{1000} = 140 \mu\text{m} \quad u_m < u_e \text{ OK!!}$$

**g) Ajuste ideal**

$$\text{Interferência relativa} \quad \frac{1000 \times u_m}{d} = \frac{1000 \times 0,0092}{40} = 0,23 \text{ [-]}$$

Com este valor e entra-se na tabela [4, pag. 66, cap 18] e encontra-se o ajuste  $H_7s_6$ . Faz-se então a verificação.

$$40 H_7s_6 \text{ resulta nas dimensões:} \quad \begin{array}{l} \text{- eixo - } 40_{+43}^{+59} \\ \text{- cubo - } 40_0^{+25} \end{array}$$

$$u_{\text{máx ajuste}} = 40,059 - 40,000 = 59 \mu\text{m} < u_e$$

$$u_{\text{mín ajuste}} = 40,043 - 40,025 = 18 \mu\text{m} > u_m$$

Portanto o ajuste  $H_7s_6$  satisfaz.

**h) Temperatura de montagem**

Levando-se em conta a folga para montagem, tem-se a interferência total necessária:

$$u_{\text{total}} = u_{\text{maxaj}} + u_f; \quad u_f = \frac{d}{1000} = \frac{40}{1000} = 40 \mu\text{m}; \quad u_{\text{total}} = 59 + 40 = 99 \mu\text{m}$$

Note-se que neste caso não é necessário que  $u_{\text{total}} < u_e$ , pois ela só é obtida com dilatação térmica e não com deformação elástica. Ela só é usada para a montagem.

$$\text{A dilatação térmica relativa é: } \frac{u_{\text{total}}}{d} = \frac{99}{40 \times 1000} = 2,47 \times 10^{-3}$$

Pela figura 18.5 [4, pag 65], para cubo de aço, obtém-se  $T = 220$  [°C]. Para esta temperatura o aquecimento pode ser feito através de banho em óleo quente. A máxima

interferência conseguida por este método é  $\frac{3,5 \times d}{1000} = 140 \mu\text{m} > u_{\text{total}}$  OK!!!