

Lista 9

1) Deseja-se unir uma polia de aço fundido (GS), que transmite um momento de torção constante de 3000 [kgf.cm], a um eixo de aço ABNT 1040 com $d = 50$ [mm]. Dimensione a união supondo-a feita por meio de pino transversal.

2) Faça a união eixo cubo do exercício 1 por meio de chaveta plana.

3) Faça novamente a união eixo cubo do exercício 1 usando-se união com ranhuras múltiplas, sendo que agora o momento de torção é alternado com choques.

4) Dimensione a chaveta plana necessária para transmitir um momento de torção $M_t = 3000$ [kgf.cm] entre um eixo e uma engrenagem, ambos de aço.

São dados:

Diâmetro do eixo	→	$d = 40$ [mm]
Largura da engrenagem	→	$L = 30$ [mm]
Pressão específica admissível do material da chaveta	→	$p_{adm} = 800$ [kgf/cm ²]
Tensão tangencial admissível do material da chaveta	→	$\tau_{adm} = 450$ [kgf/cm ²]

5) Qual o máximo momento de torção que pode ser transmitido por uma chaveta tangencial que une um eixo de aço a um cubo de ferro fundido com os dados abaixo?

São dados:

Diâmetro do eixo	→	$d = 100$ [mm]
Comprimento do cubo	→	$L = 120$ [mm]
Pressão específica admissível do material da chaveta	→	$p_{adm} = 7$ [kgf/mm ²]
Tensão tangencial admissível do material da chaveta	→	$\tau_{adm} = 4$ [kgf/mm ²]
Funcionamento com choques		

6) Numa barra de aço de 47 [mm] de diâmetro deve ser executado um eixo entalhado para a colocação de uma engrenagem de ferro fundido cujo cubo mede 40 [mm] de comprimento. A pressão específica do material do cubo é 5 [kgf/mm²]. Qual o máximo momento de torção que pode ser transmitido para o funcionamento com choques?

7) Uma engrenagem de ferro fundido deve ser unida a um eixo de aço por meio de uma chaveta vazada côncava ($\tan \alpha = 1:100$). A engrenagem tem um diâmetro primitivo $d_p = 300$ [mm] e a força tangencial nela aplicada vale $F_t = 100$ [kgf].

a) Escolha as dimensões do cubo da engrenagem.

b) Dimensione a chaveta, sabendo que o eixo tem diâmetro $d = 50$ [mm].

8) Dimensione a chaveta plana necessária para união de uma engrenagem a um eixo, para a transmissão de um momento de torção $M_t = 2000$ [kgf cm]. Dados:

Diâmetro do eixo	→	$d = 40$ [mm]
Largura da engrenagem	→	$L = 20$ [mm]
Pressão específica admissível do material da chaveta	→	$p_{adm} = 8$ [kgf/mm ²]
Tensão tangencial admissível do material da chaveta	→	$\tau_{adm} = 5$ [kgf/mm ²]

9) Pretende-se transmitir um momento de torção constante $M_t = 4500$ [kgf.cm] entre um eixo de aço ABNT 1030 de diâmetro 55 [mm] e uma engrenagem de ferro fundido cinzento, cujo cubo tem comprimento $L = 60$ [mm] por meio de chaveta plana. Verifique a viabilidade de tal construção e, caso não seja viável, proponha uma nova solução.

Resolução da lista 9**Exercício 1)****a) Dimensões do cubo**

Aqui, a relação de diâmetros pode ser tomada igual a 2,5 para cubo de ferro fundido [3, pg xx, tab 11.3].

$$\frac{D}{d} = 2,5 \Rightarrow D = 125 \text{ [mm]};$$

$$S = \frac{D - d}{2} = \frac{125 - 50}{2} = 37,5 \text{ [mm]}$$

A largura pode ser obtida como na solução do exercício 1 da lista 8:

Faixa de x

$$L = x^3 \sqrt{M_t} = 0,60^3 \sqrt{3000} = 8,65 \text{ [cm]} = 86,5 \text{ [mm]}$$

b) Diâmetro do pino

Adota-se a relação $q = 0,25$ [3, pg xx, tab 11.3]

$$q = \frac{d_p}{d} \Rightarrow 0,25 = \frac{d_p}{50} \Rightarrow d_p = 12,5 \text{ [mm]}$$

c) Tensões de Cisalhamento no pino

A tensão de cisalhamento no pino é igual à força tangencial U dividida pela área resistente, que é duas vezes a secção transversal do pino.

$$\tau_p = \frac{4M_t}{\pi \times d \times d_p^2} = \frac{4 \times 300}{\pi \times 0,05 \times 0,0125^2} = 48,89 \text{ [MPa]}$$

Deve-se satisfazer a condição $\tau_p \leq \tau_{adm}$. A tensão tangencial admissível precisa ser obtida.

Normalmente se usa a teoria dada nas notas de aula ($\tau_{adm} = \frac{TP}{a.b.c.d}$, $T.P. = \tau_e = \alpha \cdot \sigma_e$). Este, entretanto, é um procedimento geral. Às vezes, dispõe-se de dados mais específicos que levam em consideração peculiaridades de certos elementos de máquinas (por exemplo: parafusos), tais como concentrações de tensões, tratamentos térmicos especiais, etc. Este é o caso de uniões eixo-cubo, onde se usam os dados da tabela 11.4 [3, pg xx].

36 do material para pulsante

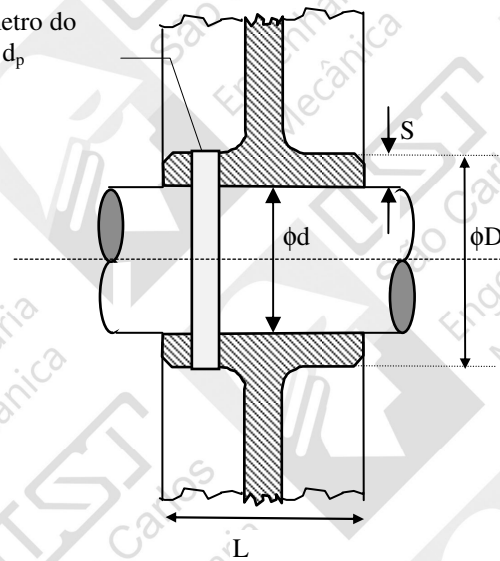
$$\tau_{adm} = 36 \times 1,5 = 54 \text{ [MPa]} \therefore \tau_p < \tau_{adm} \quad \text{OK!!}$$

Note que se usou o fator 1,5 porque os valores desta tabela referem-se às solicitações pulsantes e, neste caso, o momento de torção é constante.

d) Pressão Específica

A pressão específica máxima no eixo é:

diâmetro do pino d_p



$$p_{e\text{ máx}} = \frac{6 \times M_t}{d_p \times d^2} = \frac{6 \times 300}{0,0125 \times 0,05^2} \Rightarrow p_{e\text{ máx}} = 57,6 \text{ [MPa]}$$

e no cubo:

$$p_{cubo} = \frac{M_t}{S \times d_p (d + S)} = \frac{300}{0,0375 \times 0,0125 \times (0,05 + 0,0375)} \Rightarrow p_{cubo} = 7,31 \text{ [MPa]},$$

sendo que se pode obter a p_{adm} na tabela acima referida, que é, aliás, uma das poucas fontes disponíveis para se obter a pressão específica admissível. Observe abaixo que se usou p_{adm} do material do par em contacto que seja mais sensível a este tipo de solicitação. Admitindo-se pino de ABNT 1020:

$$p_{e\text{ máx}} = 57,6 < p_{adm} = 65 \times 1,5 = 97,5 \text{ [MPa]}$$

$$p_{cubo} = 7,31 < p_{adm} = 55,0 \times 1,5 = 82,5 \text{ [MPa]}$$

e) Cisalhamento no Eixo

$$\tau_{eixo} = \frac{M_t}{W_t} \quad W_t = \frac{\pi}{16} \times d^3 \times \left(1 - 0,9 \times \frac{d_p}{d}\right) = \frac{\pi}{16} \times 0,05^3 \times \left(1 - 0,9 \times \frac{0,0125}{0,05}\right) = 1,90 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

e portanto

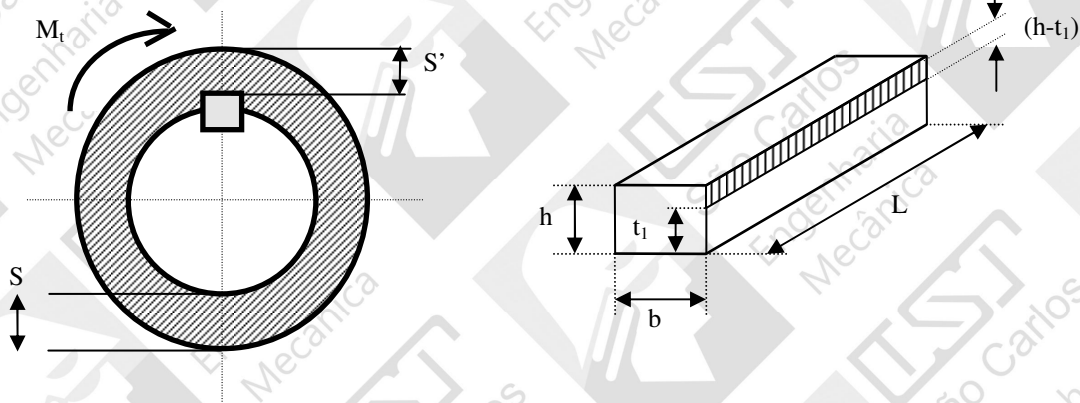
$$\tau_{eixo} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{300}{1,90 \times 10^{-5}} = 15,77 \text{ [MPa]}$$

e da mesma forma anterior $\tau_{adm} = 58 \times 1,5 = 87 \text{ [MPa]}$

$$\tau_{eixo} < \tau_{adm}$$

Como a tensão atuante resultou inferior à admissível em todas as verificações, a união está corretamente dimensionada.

Exercício 2)



a) Dimensões principais:

Quando o valor do diâmetro do eixo é conhecido, como neste caso, as dimensões S, S' e D são estimadas como nos exercícios anteriores:

$$S = 0,2 \sqrt[3]{3000} = 2,88 \text{ [cm]} = 28,8 \text{ [mm]};$$

$$S' = 0,17 \sqrt[3]{3000} = 2,45 \text{ [cm]} = 24,5 \text{ [mm]};$$

$$D = d + 2S = 10,76 \text{ [cm]} = 107,6 \text{ [mm]}$$

Entretanto, o comprimento do cubo L (neste caso determinado pelo comprimento da chaveta) pode ser calculado diretamente (e não apenas estimado) da forma apresentada a seguir:

Para o cálculo do comprimento L, inicialmente, são obtidas as dimensões da chaveta na tabela 18.6 (DIN 6885) [4, pg 71]. Para o diâmetro do eixo ≥ 50 e < 58 [mm] e chavetas planas de faces paralelas:

$$b = 16 \text{ [mm]}, \quad h = 10 \text{ [mm]}, \quad t_2 = 3,9 \text{ [mm]}, \quad t_1 = 6,2 \text{ [mm]}$$

A seguir é feito o dimensionamento do comprimento da chaveta segundo os 3 critérios seguintes:

b) Esmagamento do cubo

Da mesma forma que anteriormente, $p_{adm} = 55 \times 1,5 = 82,5$ [MPa]. Note que se usou a pressão específica admissível do material mais sensível, no caso o cubo (p_{adm} do aço fundido é menor que a do material da chaveta, assumido ser aço ABNT 1020).

$$p_{cubo} = \frac{U}{(h-t_1) \cdot L} = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot L \cdot (h-t_1)} \leq p_{adm} \Rightarrow$$

$$L \geq \frac{2 \cdot M_t}{(h-t_1) \cdot d \cdot p_{adm}} = \frac{2 \times 300}{(0,01 - 0,0062) \times 0,05 \times 82,5 \times 10^6} = 0,0383 \text{ [m]} = 38,3 \text{ [mm]}$$

c) Esmagamento do eixo

Para chaveta de material ABNT 1020, $p_{adm} = 65 \times 1,5 = 97,5$ [MPa]. (ver item d do exercício anterior).

$$p_{eixo} = \frac{U}{t_1 \cdot L} = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot t_1 \cdot L} \leq p_{adm} \Rightarrow$$

$$L \geq \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot t_1 \cdot p_{adm}} = \frac{2 \times 300}{0,05 \times 0,0062 \times 97,5 \times 10^6} = 0,0198 \text{ [m]} = 19,8 \text{ [mm]}$$

d) Cisalhamento da chaveta

Como já assumido, a chaveta é de aço ABNT 1020 e, portanto: $\tau_{adm} = 36 \times 1,5 = 54$ [MPa].

$$\tau = \frac{U}{b \cdot L} = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot b \cdot L} \leq \tau_{adm} \Rightarrow$$

$$L \geq \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot b \cdot \tau_{adm}} = \frac{2 \times 300}{0,05 \times 0,016 \times 54 \times 10^6} = 0,0138 \text{ [m]} = 13,8 \text{ [mm]}$$

Finalmente, o comprimento da chaveta L deve satisfazer simultaneamente os 3 dimensionamentos acima [b), c) e d)], portanto o valor mínimo de $L \geq \max(L_b, L_c, L_d) = \max(38,3; 19,8; 13,8) = 38,3$ [mm].

Quando o valor do diâmetro do eixo não é conhecido, também o comprimento da chaveta deve ser estimado como nos exercícios anteriores.

$$L = 0,6 \sqrt[3]{3000} = 8,65 \text{ [cm]} = 86,5 \text{ [mm]};$$

Normalmente, com essa informação é possível se estimar o comprimento do eixo e, conseqüentemente, efetuar o seu dimensionamento, obtendo-se o seu diâmetro. Com isso é possível verificar-se se o comprimento da chaveta é adequado.

Exercício 3)**a) Determinação das dimensões principais**

Pela tabela 18.8 [4, pg 73] (DIN 5462), construção leve:

Para $d = 50$ [mm]:

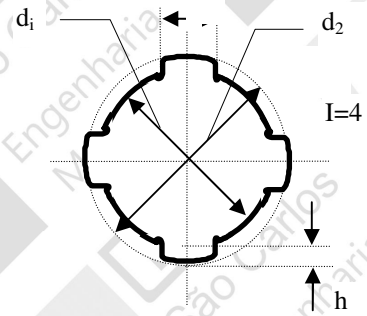
$$d_i = 46 \text{ [mm]}$$

$$b = 9 \text{ [mm]}$$

$$i = 8 \quad d_2 = 50 \text{ [mm]}$$

$$M_{10} = 173 \text{ [kgf.cm / mm]}$$

ou seja, devem ser usinadas 8 ranhuras no eixo e no cubo. É interessante notar que neste caso o diâmetro do eixo é igual a d_2 porque as estrias são usinadas.

**b) Cálculo do comprimento do cubo**

O raio médio é: $r_m = \frac{d_i + d_2}{4} = \frac{46 + 50}{4} = 24 \text{ [mm]}$

$$h = \frac{d_2 - d_i}{2} = \frac{50 - 46}{2} = 2 \text{ [mm]}$$

A pressão admissível é obtida da mesma forma anterior, mas para solicitação alternada no cubo, solicitação mais semelhante ao funcionamento com choques:

$$p_{adm} = 55 \times 0,7 = 38,5 \text{ [MPa]}.$$

$$M_t = 0,75 \cdot i \cdot h \cdot r_m \cdot L \cdot p \Rightarrow$$

$$L \geq \frac{M_t}{0,75 \cdot i \cdot h \cdot r_m \cdot p_{adm}} = \frac{300}{0,75 \times 8 \times 0,002 \times 0,024 \times 38,5 \times 10^6} = 0,027 \text{ [m]} = 27 \text{ [mm]}$$

c) Momento de Torção máximo admissível.

É muito comum se fazer a verificação uniões eixo-cubo por adaptação de forma usando-se o conceito de momento máximo admissível $M_t < M_{t adm}$. Os valores de $M_{t adm}$ estão presentes tabela 18.8 [4, pg 73] para $L = 1$ [mm] e $p_{adm} = 10$ [kgf/mm²]. As correções necessárias para os valores efetivos de cada caso são facilmente obtidas. Cuidado com as unidades!

Portanto, a expressão geral é:

$$M_{t adm} = \alpha \times L \times M_{10}, \text{ para } L \text{ em [mm] obtem-se } M_{t adm} \text{ em [kgf.cm]}$$

O fator α corrige o valor da pressão específica admissível para o material e tipo de esforço. Para cubos de ferro fundido e funcionamento com choque é recomendado o uso de $\alpha = 0,4$. Entretanto, na item b) obteve-se a $p_{adm} = 38,5$ [MPa] = 3,85 [kgf/mm²], o que corresponde a se utilizar $\alpha = 0,385$.

$$M_{t adm} = \alpha \times L \times M_{10} = 0,385 \times 27 \times 173 = 1798 \text{ [kgf.cm]} = 179,8 \text{ [N.m]} < M_t = 300 \text{ [N.m]}.$$

$M_t = 300 \text{ [N.m]} > 179,8 \text{ [N.m]} = M_{t adm}$. Esforço não suportado. Portanto deve-se aumentar o comprimento da união (lembrando-se que nada impede que o comprimento do cubo seja maior que a largura da engrenagem ou da polia).

$$\frac{L_{novo}}{L_{velho}} = \frac{M_{t adm}}{M_t} \Rightarrow L_{novo} = 27 \times \frac{300}{179,8} = 45,1 \text{ [mm]}$$