

Exemplo 14-4 no SI

Um pinhão cilíndrico de dentes retos com 17 dentes, ângulo de pressão de 20 graus, roda a 1800 rpm e transmite 3 kW a uma engrenagem de disco de 52 dentes. O módulo normal é 2,5 mm, a largura de face é 38 mm e o padrão de qualidade é 6. As engrenagens são montadas entre mancais imediatamente adjacentes. O pinhão é feito de aço Grau 1 com dureza superficial de 240 Brinell e núcleo totalmente endurecido. A coroa é de aço Grau 1, também endurecida por completo, com dureza Brinell de 200 Brinell para ambos, superfície e núcleo. O coeficiente de Poisson vale 0,3, os fatores geométricos para flexão valaem $Y_{JP}=0,3$ e $Y_{JG}=0,4$ e o módulo de Young vale 207 GPa. Assuma uma vida para o pinhão de 10^8 ciclos e confiabilidade de 0,90. Utilize $Y_N=1,3558N^{-0,0178}$ e $Z_N=1,4488N^{-0,023}$. O perfil do dente é sem coroamento. Trata-se de uma unidade redutora de engrenagem comercial fechada.

- (a) Encontre o fator de segurança das engrenagens em flexão.
 (b) Encontre o fator de segurança das engrenagens com relação ao desgaste.
 (c) Examinando os fatores de segurança, identifique a ameaça para o engrenamento

```

número de dentes do pinhão:            $N_P := 17$ 
ângulo de pressão:                    $\phi_t := 20 \text{ deg}$ 
rotação do pinhão:                    $n_P := 1800 \text{ rpm}$ 
potência:                              $H := 3 \text{ kW}$ 
número de dentes da coroa:            $N_G := 52$ 
módulo transversal:                   $m_t := 2,5 \text{ mm}$ 
largura:                               $b := 38 \text{ mm}$ 
índice de qualidade:                  $Q_v := 6$ 
montagem := "entre mancais imediatamente adjacentes,sem ajuste na montagem"
aro := "sem aro"
temperatura := "<120 C"
acabamento_superficial := "engrenagem comercial normal"
material_pinhao := "aço Grau 1"
dureza superficial do pinhão:          $HB_P := 240$ 
                                       tratamento_pinhao := "totalmente endurecido"
material_coroa := "aço Grau 1"
dureza superficial da coroa:          $HB_G := 200$ 
                                       tratamento_coroa := "totalmente endurecido"
coeficiente de Poisson:               $\nu_P := 0,3$             $\nu_G := 0,3$ 
módulo de elasticidade:               $E_P := 207 \text{ GPa}$         $E_G := 207 \text{ GPa}$ 
fonte_de_potencia := "suave"
maquina_acionada := "uniforme"
vida para o pinhão:                   $N_{cP} := 10^8$ 
confiabilidade:                       $R := 0,9$ 
fator de ciclagem para resistência à fleão:  $Y_N = 1,3558 \cdot N^{-0,0178}$ 
fator de ciclagem para resistência ao desgaste:  $Z_N = 1,4488 \cdot N^{-0,023}$ 
coroamento := "sem coroa"
construcao := "unidade redutora comercial fechada"

```

CÁLCULO DA TENSÃO DE FLEXÃO DE TRABALHO:

diâmetros primitivos:

$$d_p := m_t \cdot N_p = 42,5 \text{ mm}$$

$$d_G := m_t \cdot N_G = 130 \text{ mm}$$

velocidade tangencial:

$$V := \frac{d_p}{2} \cdot n_p = 4,01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

força tangencial:

$$W_t := \frac{H}{V} = 748,96 \text{ N}$$

fator de sobrecarga (tabela):

fonte_de_potencia = "suave"

$$K_o := 1$$

maquina_acionada = "uniforme"

fator dinâmico (eq. 14-27):

$$B := 0,25 \cdot \sqrt[3]{(12 - Q_v)^2} = 0,8255$$

$$A := 50 + 56 \cdot (1 - B) = 59,7730$$

$$K_v := \left(\frac{A + \sqrt{200 \cdot \frac{V}{\text{m}}}}{A} \right)^B = 1,3771$$

velocidade tangencial máxima:

$$V_{max} := \frac{(A + (Q_v - 3))^2}{200} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19,702 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V = 4,006 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

fator de tamanho: Para engrenagens métricas padronizadas

$$K_s := 1$$

fator de distribuição de carga:

fator de correção de carga (Eq. 14-31):

coroamento = "sem coroa"

$$C_{mc} := 1$$

fator de proporção do pinhão (Eq. 14-32):

$$b = 38 \text{ mm} \quad \frac{b}{d_p} = 0,89 \quad C_{pf} := \frac{b}{10 \cdot d_p} - 0,0375 + 4,92 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{b}{\text{mm}} = 0,0706$$

modificador de proporção do pinhão (Eq. 41-33):

$$C_{pm} := 1$$

montagem = "entre mancais imediatamente adjacentes, sem ajuste na montagem"

fator de alinhamento (Eq. 14-34):

construcao = "unidade redutora comercial fechada"

$$A := 0,127$$

$$B := 0,0158$$

$$C := -0,930 \cdot 10^{-4}$$

$$C_{ma} := A + B \cdot \frac{b}{\text{in}} + C \cdot \left(\frac{b}{\text{in}} \right)^2 = 0,1504$$

fator de correção do alinhamento (Eq. 14-35): $C_e := 1$

montagem = "entre mancais imediatamente adjacentes, sem ajuste na montagem"

fator de distribuição de carga (Eq. 14-30)

$$K_H := 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e) = 1,221$$

fator de espessura do aro (Eq. 14-40): $aro = "sem aro"$ $K_B := 1$

fator geométrico (Fig. 14-6): $N_P = 17$ $N_G = 52$ $Y_{JP} := 0,295$

$N_G = 52$ $N_P = 17$ $Y_{JG} := 0,39$

tensão de flexão (Eq. 14-15)

$$\sigma_{fP} := W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{1}{b \cdot m_t} \cdot \frac{K_H \cdot K_B}{Y_{JP}} = 44,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fG} := W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{1}{b \cdot m_t} \cdot \frac{K_H \cdot K_B}{Y_{JG}} = 33,99 \text{ MPa}$$

CÁLCULO DA TENSÃO DE FLEXÃO ADMISSÍVEL:

resistência à flexão (Fig. 14-2):

material_pinhao = "aço Grau 1"

tratamento_pinhao = "totalmente endurecido"

$HB_P = 240$ $S_{tP} := (0,533 \cdot HB_P + 88,3) \text{ MPa} = 216,22 \text{ MPa}$

material_coroa = "aço Grau 1"

tratamento_coroa = "totalmente endurecido"

$HB_G = 200$ $S_{tG} := (0,533 \cdot HB_G + 88,3) \text{ MPa} = 194,9 \text{ MPa}$

fator de cilclagem (Fig. 14-14):

$$N_{cP} = 1 \cdot 10^8 \quad Y_{NP} := 1,3558 \cdot N_{cP}^{-0,0178} = 0,977$$

$$N_{cG} := N_{cP} \cdot \frac{N_P}{N_G} = 3,27 \cdot 10^7 \quad Y_{NG} := 1,3558 \cdot N_{cG}^{-0,0178} = 0,996$$

fator de temperatura: $temperatura = "<120 \text{ C}"$ $Y_\theta := 1$

fator de confiabilidade (Tab. 14-10): $R = 0,9$ $Y_Z := 0,85$

tensão de flexão admissível (Eq. 14-17):

$$\sigma_{fadmP} := S_{tP} \cdot \frac{Y_{NP}}{Y_\theta \cdot Y_Z} = 248,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fadmG} := S_{tG} \cdot \frac{Y_{NG}}{Y_\theta \cdot Y_Z} = 228,47 \text{ MPa}$$

CÁLCULO DA TENSÃO DE CONTATO DE TRABALHO

coeficiente elástico (Tab. 14-8 ou Eq. 14-13):

$$\begin{aligned} \text{material_pinhao} &= \text{"aço Grau 1"} & \nu_P &= 0,3 & E_P &= 207 \text{ GPa} \\ \text{material_coroa} &= \text{"aço Grau 1"} & \nu_G &= 0,3 & E_G &= 207 \text{ GPa} \end{aligned}$$

$$Z_E := \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{1 - \nu_P^2}{E_P} + \frac{1 - \nu_G^2}{E_G} \right)}} = 190,27 \sqrt{\text{MPa}}$$

fator de condição da superfície: para engrenagens normais $Z_R := 1$

fator geométrico para desgaste (Eq. 14-23):

$$\text{razão de engrenamento: } m_G := \frac{N_G}{N_P} = 3,06$$

$$\text{razão de compartilhamento de carga: } m_N := 1$$

$$\text{fator geométrico para desgaste: } Z_I := \frac{\cos(\varphi_t) \cdot \sin(\varphi_t)}{2 \cdot m_N} \cdot \frac{m_G}{m_G + 1} = 0,12$$

tensão de contato de trabalho:

$$\sigma_{cP} := Z_E \cdot \sqrt{W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{K_H}{d_P \cdot b} \cdot \frac{Z_R}{Z_I}} = 482,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cG} := Z_E \cdot \sqrt{W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{K_H}{d_P \cdot b} \cdot \frac{Z_R}{Z_I}} = 482,83 \text{ MPa}$$

CÁLCULO DA TENSÃO DE CONTATO ADMISSÍVEL:

resistência ao contato (Fig. 14-5):

$$\text{material_pinhao} = \text{"aço Grau 1"}$$

$$\text{tratamento_pinhao} = \text{"totalmente endurecido"}$$

$$HB_P = 240 \quad S_{cP} := (2,22 \cdot HB_P + 200) \text{ MPa} = 732,8 \text{ MPa}$$

$$\text{material_coroa} = \text{"aço Grau 1"}$$

$$\text{tratamento_coroa} = \text{"totalmente endurecido"}$$

$$HB_G = 200 \quad S_{cG} := (2,22 \cdot HB_G + 200) \text{ MPa} = 644 \text{ MPa}$$

fator de cilclagem (Fig. 14-15):

$$N_{cP} = 1 \cdot 10^8 \quad Z_{NP} := 1,4488 \cdot N_{cP}^{-0,023} = 0,948$$

$$N_{cG} := N_{cP} \cdot \frac{N_P}{N_G} = 3,27 \cdot 10^7 \quad Z_{NG} := 1,4488 \cdot N_{cG}^{-0,023} = 0,973$$

fator de razão de dureza (Eq. 14-36):

$$\text{pinhão: } Z_{WP} := 1$$

$$\text{coroa: } \frac{HB_P}{HB_G} = 1,2 \quad A' := 8,98 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{HB_P}{HB_G} - 8,29 \cdot 10^{-3} = 0,0025$$

$$Z_{WG} := 1 + A' \cdot (m_G - 1) = 1,005$$

tensão de contato admissível:

$$\sigma_{cadmP} := S_{cP} \cdot \frac{Z_{NP} \cdot Z_{WP}}{Y_\theta \cdot Y_Z} = 817,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cadmG} := S_{cG} \cdot \frac{Z_{NG} \cdot Z_{WG}}{Y_\theta \cdot Y_Z} = 741,07 \text{ MPa}$$

CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA PARA FLEXÃO

fator de segurança para flexão:

$$S_{FP} := \frac{\sigma_{fadmP}}{\sigma_{fP}} = 5,53$$

$$S_{FG} := \frac{\sigma_{fadmG}}{\sigma_{fG}} = 6,72$$

CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA PARA CONTATO

fator de segurança para contato:

$$S_{HP} := \frac{\sigma_{cadmP}}{\sigma_{cP}} = 1,69$$

$$S_{HP}^2 = 2,87$$

$$S_{HG} := \frac{\sigma_{cadmG}}{\sigma_{cG}} = 1,53$$

$$S_{HG}^2 = 2,36$$