

## Exemplo 14-8

Projete uma redução de 4:1 envolvendo engrenagens cilíndricas de dentes retos para um motor trifásico de indução com gaiola de esquilo de 100 hp de potência rodando a 1120 rev/min. A carga é suave, proporcionando uma confiabilidade de 0,95 a  $10^9$  revoluções do pinhão. O espaço para as engrenagens é pequeno. Utilize Nitralloy 135M de grau 1 como material, para manter o tamanho das engrenagens pequeno. As engrenagens são termo-tratadas primeiro e então nitretadas.

Tome as seguintes decisões iniciais:

- Função: 100 hp, 1120 rev/min,  $R = 0,95$ ,  $N = 10^9$  ciclos,  $K_o = 1$ .
- Fator de projeto para exigências não quantificadas:  $n_d = 2$ .
- Sistema de dentes:  $\phi_n = 20^\circ$ .
- Número de dentes:  $N_p = 18$  dentes,  $N_G = 72$  dentes (sem interferência, Seção 13-7, p. 667).
- Número de qualidade:  $Q_v = 6$ , use material de grau 1.
- Assuma  $m_B \geq 1,2$  na Equação (14-40),  $K_B = 1$ .

## Decisões iniciais:

potência:	$H := 100$ hp
rotação do pinhão:	$n_p := 1120$ rpm
confiabilidade:	$R := 0,95$
vida para o pinhão:	$N_{CP} := 10^9$
fator de sobrecarga:	$K_o := 1$
fator de projeto:	$n_d := 2$
ângulo de pressão:	$\phi := 20$ deg
número de dentes do pinhão:	$N_p := 18$
número de dentes da coroa:	$N_G := 72$
índice de qualidade:	$Q_v := 6$
material := "aço Nitralloy 135M Grau 1"	
fator spessura do aro:	$K_B := 1$

## Considerações icionais:

```

coroamento := "sem coroamento"
montagem := "entre mancais, no centro"
construcao := "engrenagens comerciais fechadas"
correcao_do_alinhamento := "não há"
dentes := "retos"

```

tentativa passo diametral:

$$P_d := 4 \cdot \frac{1}{\text{in}}$$

diâmetro mitivo do pinhão:

$$d_P := \frac{N_P}{P_d} = 4,5 \text{ in}$$

diâmetro vo da coroa:

$$d_G := \frac{N_G}{P_d} = 18 \text{ in}$$

fator de forma: Tab. 14-2 para  $N_P = 18$ 

$$Y_P := 0,303$$

para  $N_G = 72$  interpolando

$$N_{inf} := 60$$

$$Y_{inf} := 0,422$$

$$N_{sup} := 75$$

$$Y_{sup} := 0,435$$

$$Y_G := \frac{N_G - N_{inf}}{N_{sup} - N_{inf}} \cdot (Y_{sup} - Y_{inf}) + Y_{inf} = 0,4324$$

fator ométrico - Fig. 14-6

$$N_P = 18$$

$$J_P := 0,32$$

$$N_G = 72$$

$$J_G := 0,415$$

velocidade eriférica:

$$V := \frac{d_P}{2} \cdot n_P = 1319,469 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

força ngencial:

$$W_t := \frac{H}{V} = 2501,006 \text{ lbf}$$

fator dinâmico (Eq. 14-27):

$$B := 0,25 \cdot (12 - Q_v)^{\frac{2}{3}} = 0,825$$

$$A := 50 + 56 \cdot (1 - B) = 59,773$$

$$K_v := \left( \frac{A + \sqrt{\frac{V}{\frac{\text{ft}}{\text{min}}}}}{A} \right)^B = 1,48$$

fator de confiabilidade (Eq. 14-38):

$$R = 0,95$$

$$K_R := 0,658 - 0,0759 \cdot \ln(1 - R) = 0,89$$

fator de ciclagem para resistência à flexão (Fig. 14-14):

$$N_{CP} = 1 \cdot 10^9$$

$$Y_{NP} := 1,3558 \cdot N_{CP}^{-0,0178} = 0,938$$

$$N_{CG} := N_{CP} \cdot \frac{N_P}{N_G} = 2,5 \cdot 10^8$$

$$Y_{NG} := 1,3558 \cdot N_{CG}^{-0,0178} = 0,961$$

fator de cilclagem para tensões de contato (Fig. 14-15):

$$N_{CP} = 1 \cdot 10^9$$

$$Z_{NP} := 1,4488 \cdot N_{CP}^{-0,023} = 0,900$$

$$N_{CG} = 2,5 \cdot 10^8$$

$$Z_{NG} := 1,4488 \cdot N_{CG}^{-0,023} = 0,929$$

largura a engrenagem (recomendação pág. 723):

$$3p < F < 5p$$

$$F := 4 \cdot \frac{\pi}{P_d} = 3,14 \text{ in}$$

fator de tamanho:

Obs.: Para engrenagens métricas padronizadas, considera-se  $K_s = 1$ . Contudo, em se tratando de um exemplo que utiliza o sistema inglês, será utilizada a expressão (a) Seção 14-10, que é aplicável à situação.

$$K_{sP} := 1,192 \cdot \left( \frac{\frac{F}{\text{in}} \cdot \sqrt{Y_P}}{P_d} \right)^{0,0535} = 1,140$$

$$K_{sG} := 1,192 \cdot \left( \frac{\frac{F}{\text{in}} \cdot \sqrt{Y_G}}{P_d} \right)^{0,0535} = 1,151$$

fator de distribuição de carga:

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

coroamento = "sem coroamento"

$$C_{mc} := 1$$

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

$$F = 3,1416 \text{ in}$$

$$C_{pf} := \frac{F}{10 \cdot d_p} - 0,0375 + 0,0125 \cdot \frac{F}{\text{in}} = 0,0716$$

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

montagem = "entre mancais, no centro"

$$C_{pm} := 1$$

fator de alinhamento (Eq. 14-34):

construcao = "engrenagens comerciais fechadas"

$$A := 0,127$$

$$B := 0,0158$$

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

$$C_{ma} := A + B \cdot \frac{F}{\text{in}} + C \cdot \left( \frac{F}{\text{in}} \right)^2 = 0,1757$$

fator de correção do alinhamento (Eq. 14-35):

correcao\_do\_alinhamento = "não há"

$$C_e := 1$$

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

$$K_m := 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e) = 1,247$$

coeficiente elástico (Tab. 14-8):

$$C_p := 2300 \cdot \sqrt{\text{psi}}$$

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

razão de compartilhamento de carga (Eq. 14-21):

$$m_N := 1$$

para dentes = "retos"

razão de engrenamento:

$$m_G := \frac{N_G}{N_P} = 4$$

fator geométrico para desgaste:

$$I := \frac{\cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi)}{2 \cdot m_N} \cdot \frac{m_G}{m_G + 1} = 0,1286$$

fator de temperatura :

$$K_T := 1$$

fator de razão de dureza (Eq. 14-36): para pinhão

$$C_{HP} := 1$$

para a coroa:

$$C_{HG} := 1$$

por ser da mesma dureza

**FLEXÃO NO DENTE DO PINHÃO**

resistência à flexão (Fig. 14-2):

*material* = "aço Nitralloy 135M Grau 1"

dureza do material (Tab. 14-5):

$$RC_{min} := 32$$

$$RC_{max} := 36$$

$$RC := \frac{RC_{min} + RC_{max}}{2} = 34$$

conversão para dureza Brinell:

$$HB_P := 320$$

$$S_t := (86,2 \cdot HB_P + 12730) \text{ psi} = 40314 \text{ psi}$$

largura em relação à tensão de flexão:

$$F_{flexao} := n_d \cdot W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{sP} \cdot P_d \cdot \left( \frac{K_m \cdot K_B}{J_P} \right) \cdot \left( \frac{K_T \cdot K_R}{S_t \cdot Y_{NP}} \right) = 3,08 \text{ in}$$

**TENSÃO DE CONTATO DO PINHÃO**

resistência ao contato (Tab. 14-6):

*material* = "aço Nitralloy 135M Grau 1"

$$S_c := 170000 \text{ psi}$$

fator de condição de superfície:

$$C_f := 1$$

largura em relação à tensão de contato:

$$F_{contato} := \left( \frac{C_P \cdot K_T \cdot K_R}{S_c \cdot Z_{NP} \cdot C_{HP}} \right)^2 \cdot n_d \cdot W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{sP} \cdot \left( \frac{K_m \cdot C_f}{d_P \cdot I} \right) = 3,23 \text{ in}$$

ADOTANDO LARGURA:

$$F := 3,5 \text{ in}$$

Correção do Ks:

$$K_{sP} := 1,192 \cdot \left( \frac{\frac{F}{\text{in}} \cdot \sqrt{Y_P}}{\frac{P_d}{\text{in}^{-1}}} \right)^{0,0535} = 1,146$$

correção de Km:

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

$$F = 3,5 \text{ in} \quad C_{pf} := \frac{F}{10 \cdot d_p} - 0,0375 + 0,0125 \cdot \frac{F}{\text{in}} = 0,084$$

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

$$K_m := 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e) = 1,260$$

tensão de flexão no pinhão (Eq. 14-15):

$$\sigma_{fP} := W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{sP} \cdot \left( \frac{P_d}{F} \right) \cdot \left( \frac{K_m \cdot K_B}{J_P} \right) = 19088,09 \text{ psi}$$

fator de segurança em flexão no pinhão:

$$S_{FP} := \frac{\frac{S_t \cdot Y_{NP}}{K_T \cdot K_R}}{\sigma_{fP}} = 2,24$$

tensão de flexão na coroa (Eq. 14-15):

$$\sigma_{fG} := W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{sG} \cdot \left( \frac{P_d}{F} \right) \cdot \left( \frac{K_m \cdot K_B}{J_G} \right) = 14773,57 \text{ psi}$$

fator de segurança em flexão na coroa:

$$S_{FG} := \frac{\frac{S_t \cdot Y_{NG}}{K_T \cdot K_R}}{\sigma_{fG}} = 2,96$$

tensão de contato no pinhão (Eq. 14-16):

$$\sigma_{cP} := C_P \cdot \sqrt{W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{sP} \cdot \left( \frac{K_m}{d_p \cdot F} \right) \cdot \frac{C_f}{I}} = 118167,78 \text{ psi}$$

fator de segurança de contato no pinhão:

$$S_{HP} := \left( \frac{S_c \cdot Z_{NP} \cdot C_{HP}}{K_T \cdot K_R} \right)^2 \frac{1}{\sigma_{cP}} = 2,14$$

tensão de flexão na coroa (Eq. 14-15):

$$\sigma_{cG} := C_P \cdot \sqrt{W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{sG} \cdot \left( \frac{K_m}{d_G \cdot F} \right) \cdot \frac{C_f}{I}} = 59194,27 \text{ psi}$$

fator de segurança em flexão na coroa:

$$S_{HG} := \left( \frac{S_c \cdot Z_{NG} \cdot C_{HG}}{K_T \cdot K_R} \right)^2 \frac{1}{\sigma_{cG}} = 9,07$$