

Gabarito da prova 1 período noturno da disciplina TMEC038 - Elementos da máquinas II

1) Calcule a relação de transmissão da prova baseado em seu número de matrícula (05).

$$GRR20 := (1 \ 1 \ 0 \ 5 \ 1 \ 4)$$

$$i_{\text{nom}} := \begin{cases} i \leftarrow \frac{GRR20^{(4)} \cdot 100 + GRR20^{(5)} \cdot 10 + GRR20^{(6)}}{GRR20^{(1)} \cdot 100 + GRR20^{(2)} \cdot 10 + GRR20^{(3)}} & i_{\text{nom}} = 4.673 \\ i \leftarrow \frac{1}{i} \text{ if } i < 1 \end{cases} \quad \text{Relação de transmissão deste aluno.}$$

2) Calcule uma transmissão de dentes helicoidais objetivando a relação de transmissão da prova, com o menor número de dentes no pinhão, fabricado pelo processo de geração, sem que ocorra nenhum recorte no pé do dente, para:

$m_n := 4\text{mm}$	Módulo
$\alpha_n := 20\text{deg}$	ângulo de pressão normal
$c_s := .167$	Folga no fundo do dente
$\beta := 21.5\text{deg}$	ângulo de pressão
$b := 25\text{mm}$	largura da engrenagem

Determine:

- Número de dentes do pinhão ( $z_1$ ) e da coroa ( $z_2$ ) e a relação de transmissão efetiva ( $i$ ) (05);
- Diâmetros primitivos ( $d_1$  e  $d_2$ ) e a distância entre centros ( $a$ ) (05);
- Dimensões das engrenagens: Altura do dente ( $h$ ) Diâmetros de adendo ( $d_{1a}$  e  $d_{2a}$ ) e diâmetros de dedendo ( $d_{1d}$  e  $d_{2d}$ ) (05);
- Razão de condução:  $\varepsilon_\alpha$  (05);
- Grau de recobrimento axial:  $\varepsilon_\beta$  (05);
- Número de dentes virtuais:  $z_{1v}$  e  $z_{2v}$  (05).

$$k := (1 + c) = 1.167 \quad \text{Fator de profundidade do dedendo}$$

$$\alpha_t := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = 21.365 \cdot \text{deg} \quad \text{ângulo de pressão transversal}$$

$$\beta_b := \text{atan}\left(\tan(\beta) \cdot \cos(\alpha_t)\right) = 20.145 \cdot \text{deg} \quad \text{ângulo de hélice de base}$$

$$m_t := \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 4.299 \cdot \text{mm} \quad \text{módulo transversal}$$

$$p_t := m_t \cdot \pi = 13.506 \cdot \text{mm} \quad \text{Passo transversal}$$

$$p_{bt} := p_t \cdot \cos(\alpha_t) = 12.578 \cdot \text{mm} \quad \text{Passo de base transversal}$$

$$s_t := \frac{p_t}{2} = 6.753 \cdot \text{mm} \quad \text{Espessura transversal do dente no diâmetro primitivo}$$

$$z_{\text{min}} := \frac{2 \cdot k \cdot \cos(\beta)}{\sin(\alpha_t)^2} = 16.362 \quad \text{Número mínimo de dentes}$$

$$z_1 := 17 \quad z_2 := \text{round}(i_{\text{nom}} \cdot z_1) = 79 \quad \text{Número de dentes}$$

$$i := \frac{z_2}{z_1} = 4.647 \quad \text{Relação de transmissão efetiva}$$

$$\phi_1 := m_t \cdot z_1 = 73.085 \cdot \text{mm}$$

$$r_1 := \frac{\phi_1}{2} = 36.543 \cdot \text{mm}$$

$$a := r_1 + r_2 = 206.359 \cdot \text{mm}$$

$$h := (2 + c) \cdot m_n$$

$$\phi_{1a} := \phi_1 + 2 \cdot m_n = 81.085 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{1d} := \phi_1 - 2 \cdot m_n \cdot k = 63.749 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{1b} := \phi_1 \cdot \cos(\alpha_t) = 68.063 \cdot \text{mm}$$

$$z_{1v} := \frac{z_1}{\cos(\beta)^3} = 21.106$$

$$\epsilon_\alpha := \frac{\sqrt{\left(\frac{\phi_{1a}}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi_{1b}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\phi_{2a}}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi_{2b}}{2}\right)^2} - a \cdot \sin(\alpha_t)}{P_{bt}} = 1.509$$

$$\epsilon_\beta := \frac{b \cdot \tan(\beta)}{\pi \cdot m_t} = 0.729$$

$$\phi_2 := m_t \cdot z_2 = 339.632 \cdot \text{mm}$$

$$r_2 := \frac{\phi_2}{2} = 169.816 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m_t = 206.359 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2a} := \phi_2 + 2 \cdot m_n = 347.632 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2d} := \phi_2 - 2 \cdot m_n \cdot k = 330.296 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2b} := \phi_2 \cdot \cos(\alpha_t) = 316.293 \cdot \text{mm}$$

$$z_{2v} := \frac{z_2}{\cos(\beta)^3} = 98.083$$

**Diâmetro primitivo**

Raio primitivo

Distância entre centros

**Altura do dente**

**Diâmetro de adendo**

**Diâmetro do pé do dente**

Diâmetro de base

**Número virtual de dentes**

**Razão de condução**

**Recobrimento axial**

3) Calcule uma transmissão de dentes retos objetivando a relação de transmissão da prova, com o menor número de dentes no pinhão, fabricado pelo processo de geração, sem que ocorra nenhum recorte no pé do dente, para:

Determine:

- Número de dentes do pinhão ( $z_1$ ) (05);
- O número de dentes da coroa ( $z_2$ ) e a relação de transmissão efetiva ( $i$ ) (05);
- Diâmetros primitivos ( $d_1$  e  $d_2$ ) e a distância entre centros ( $a$ ) (05);
- Dimensões das engrenagens: Altura do dente ( $h$ ) Diâmetros de adendo ( $d_{1a}$  e  $d_{2a}$ ) e diâmetros de dedendo ( $d_{1d}$  e  $d_{2d}$ ) (05);
- Razão de condução  $\epsilon_\alpha$  (05).

$$\beta := 0 \text{ deg}$$

Ângulo B zero devido a dente reto

$$m_n := 3 \text{ mm}$$

Modulo normal

$$p := m_n \cdot \pi = 9.425 \cdot \text{mm}$$

Passo

$$p_b := p \cdot \cos(\alpha_n) = 8.856 \cdot \text{mm}$$

Passo de base

$$s := \frac{p}{2} = 4.712 \cdot \text{mm}$$

Espessura transversal do dente no diâmetro primitivo

$$z_{\text{min}} := \frac{2 \cdot k}{\sin(\alpha_n)^2} = 19.953$$

Número mínimo de dentes

$$z_1 := 20$$

$$z_2 := \text{round}(z_1 \cdot i_{\text{nom}}) = 93$$

**Número de dentes**

$$i := \frac{z_2}{z_1} = 4.65$$

**Relação de transmissão efetiva**

$$\phi_1 := m_n \cdot z_1 = 60 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_2 := m_n \cdot z_2 = 279 \cdot \text{mm}$$

**Diâmetro primitivo**

$$r_1 := \frac{\phi_1}{2} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$r_2 := \frac{\phi_2}{2} = 139.5 \cdot \text{mm}$$

Raio primitivo

$$a := r_1 + r_2 = 169.5 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m_n = 169.5 \cdot \text{mm}$$

**Distância entre centros**

$$h := (2 + c) \cdot m_n$$

**Altura do dente**

$$\phi_{1a} := \phi_1 + 2 \cdot m_n = 66 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2a} := \phi_2 + 2 \cdot m_n = 285 \cdot \text{mm}$$

**Diâmetro de adendo**

$$\phi_{1d} := \phi_1 - 2 \cdot m_n \cdot k = 52.998 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2d} := \phi_2 - 2 \cdot m_n \cdot k = 271.998 \cdot \text{mm}$$

**Diâmetro do fundo do dente**

$$\phi_{1b} := \phi_1 \cdot \cos(\alpha_n) = 56.382 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{2b} := \phi_2 \cdot \cos(\alpha_n) = 262.174 \cdot \text{mm}$$

Diâmetro de base

$$\epsilon_{\alpha} := \frac{\sqrt{\left(\frac{\phi_{1a}}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi_{1b}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\phi_{2a}}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi_{2b}}{2}\right)^2} - a \cdot \sin(\alpha_n)}{P_b} = 1.701$$

**Razão de condução**

4) Considerando a transmissão de dentes retos da questão 3 da prova para transmitir a seguinte potência:

$$P := 1.5 \cdot \text{kW}$$

Potência a ser transmitida

$$\omega := 1720 \text{rpm}$$

Velocidade angular na entrada do redutor

Aspectos de engenharia:

$$E := 209 \text{GPa} \quad \text{Módulo de elasticidade do material}$$

$$\nu := .29 \quad \text{Coeficiente de Poisson}$$

Dureza do pinhão: 250 HB

Qualidade das engrenagens: ISO 8;

Pinhão será acoplado diretamente no eixo do motor elétrico;

Aplicação será a usinagem por fresamento de metais

$$T := \frac{P}{\omega} = 8.328 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Torque no eixo

$$T = 8.328 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$F_t := \frac{T}{r_1} = 278 \text{N}$$

Força tangencial

$$y_M := \frac{a \cdot F_t}{r_1 \cdot r_2 \cdot b} = 0.45 \cdot \text{MPa}$$

Fator MAAG Geométrico

$$K_1 := 1 - \nu^2 = 0.916 \quad K_2 := K_1$$

$$y_E := \frac{E \cdot E}{\pi \cdot (K_1 \cdot E + K_2 \cdot E)} = 36.3 \cdot \text{GPa}$$

Fator de elasticidade dos materiais

$$y_{\alpha} := \frac{2}{\sin(2 \cdot \alpha_n)} = 3.111$$

Fator do ângulo de pressão:

$$y_{\epsilon} := \frac{1}{\epsilon_{\alpha}} = 0.588$$

Fator das linhas de contato

$$\sigma_{HB} := \sqrt{y_M \cdot y_E \cdot y_{\alpha} \cdot y_{\epsilon}} = 172.9 \cdot \text{MPa}$$

**Tensão de contato básica**

$$v_t := \omega \cdot r_1 = 5.404 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidade tangencial

$$k_d := 1.55$$

Engrenagem grau de qualidade ISO 8, com dureza superficial abaixo de 350 Brinell

$$\psi_d := \frac{b}{\phi_1} = 0.4$$

Relação entre largura e diâmetro da engrenagem

$$k_e := 1.22$$

Pinhão em balanço

$$k_s := 1.25$$

Acionamento por motor elétrico com carga de usinagem por fresa em aço

$$\sigma_H := \sqrt{y_M \cdot y_E \cdot y_{\alpha} \cdot y_{\epsilon} \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_s} = 266 \cdot \text{MPa}$$

**Tensão de contato em serviço**

Cálculo da tensão de flexão:

$$h_{tf} := h = 6.501 \cdot \text{mm}$$

$$\rho_f := .35 \cdot m_n = 1.05 \cdot \text{mm}$$

$$z1 = 20$$

$$Y_F := 2.8$$

$$Y_\beta := 1$$

$$\sigma_{bf} := \frac{F_t}{b \cdot m_n \cdot \epsilon_\alpha} \cdot Y_F \cdot Y_\beta = 6.09 \cdot \text{MPa}$$

$$t := \sqrt{\frac{6 \cdot h_{tf} \cdot m_n}{Y_F}} = 6.465 \cdot \text{mm}$$

$$K_t := .18 + \left(\frac{t}{\rho_f}\right)^{.15} \cdot \left(\frac{t}{h_{tf}}\right)^{.45} = 1.49$$

$$q := 1$$

$$K_{t_f} := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.49$$

$$\sigma_f := \sigma_{bf} \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_s \cdot K_{t_f} = 21.47 \cdot \text{MPa}$$

Altura a ser considerada para calculo

Arredondamento no pé do dente

Numero de dentes virtuais para consulta do Y.F

Fator de forma de Maag

Fator de hélice

### **Tensão de flexão básica**

Estimativa da espessura na raiz do dente pelo Y.F, apenas para calcular o  $K_t$

Dos ensaios de fotoelasticidade

Fator tomando conservativamente como 1

Fator de concentração de tensões

### **Tensão de flexão no pé do dente em operação**