

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

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

$$GRR20 := (0 \ 9 \ 0 \ 7 \ 2 \ 4)$$

$$i_{nom} := \begin{cases} i \leftarrow \frac{GRR20^{(4)} \cdot 100 + GRR20^{(5)} \cdot 10 + GRR20^{(6)}}{GRR20^{(1)} \cdot 100 + GRR20^{(2)} \cdot 10 + GRR20^{(3)}} \\ i \leftarrow \frac{1}{i} \text{ if } i < 1 \end{cases} \quad i_{nom} = 8.044 \quad \text{Relação de transmissão deste aluno.}$$

2) 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:

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| $m_n := 3\text{mm}$ | Módulo |
| $\alpha_n := 20\text{deg}$ | ângulo de pressão normal |
| $c := .167$ | Folga no fundo do dente |

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 ε_α (05).

| | |
|------------------------|----------------------------------|
| $k := (1 + c) = 1.167$ | Fator de profundidade do dedendo |
|------------------------|----------------------------------|

| | |
|--|-------------------|
| $p := m_n \cdot \pi = 9.425 \cdot \text{mm}$ | Passo transversal |
|--|-------------------|

| | |
|---|---------------------------|
| $p_b := p \cdot \cos(\alpha_n) = 8.856 \cdot \text{mm}$ | Passo de base transversal |
|---|---------------------------|

| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| $ev(\alpha) := \tan(\alpha) - \alpha$ | Função da envolvente |
|---------------------------------------|----------------------|

| | |
|--|--|
| $s_n := \frac{p}{2} = 4.712 \cdot \text{mm}$ | Espessura transversal do dente no diâmetro primitivo |
|--|--|

| | |
|--|-------------------------|
| $z_{min} := \frac{2 \cdot k}{\sin(\alpha_n)^2} = 19.953$ | Número mínimo de dentes |
|--|-------------------------|

| | | |
|-------------|--|-------------------------|
| $z_1 := 20$ | $z_2 := \text{round}(z_1 \cdot i_{nom}) = 161$ | Número de dentes |
|-------------|--|-------------------------|

| | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| $i := \frac{z_2}{z_1} = 8.05$ | Relação de transmissão efetiva |
|-------------------------------|---------------------------------------|

| | | |
|--|---|---------------------------|
| $\phi_1 := m_n \cdot z_1 = 60 \cdot \text{mm}$ | $\phi_2 := m_n \cdot z_2 = 483 \cdot \text{mm}$ | Diâmetro primitivo |
|--|---|---------------------------|

| | | |
|--|---|----------------|
| $r_1 := \frac{\phi_1}{2} = 30 \cdot \text{mm}$ | $r_2 := \frac{\phi_2}{2} = 241.5 \cdot \text{mm}$ | Raio primitivo |
|--|---|----------------|

| | | |
|--|---|--------------------------------|
| $a := r_1 + r_2 = 271.5 \cdot \text{mm}$ | $\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m_n = 271.5 \cdot \text{mm}$ | Distância entre centros |
|--|---|--------------------------------|

| | |
|--------------------------|------------------------|
| $h := (2 + c) \cdot m_n$ | Altura do dente |
|--------------------------|------------------------|

| | | |
|--|---|---------------------------|
| $\phi_{1a} := \phi_1 + 2 \cdot m_n = 66 \cdot \text{mm}$ | $\phi_{2a} := \phi_2 + 2 \cdot m_n = 489 \cdot \text{mm}$ | Diâmetro de adendo |
|--|---|---------------------------|

| | | |
|--|---|-----------------------------------|
| $\phi_{1d} := \phi_1 - 2 \cdot m_n \cdot k = 52.998 \cdot \text{mm}$ | $\phi_{2d} := \phi_2 - 2 \cdot m_n \cdot k = 475.998 \cdot \text{mm}$ | Diâmetro do fundo do dente |
|--|---|-----------------------------------|

| | | |
|---|--|------------------|
| $\phi_{1b} := \phi_1 \cdot \cos(\alpha_n) = 56.382 \cdot \text{mm}$ | $\phi_{2b} := \phi_2 \cdot \cos(\alpha_n) = 453.872 \cdot \text{mm}$ | Diâmetro de base |
|---|--|------------------|

$$\epsilon_{\alpha} := \frac{\sqrt{\left(\frac{\phi 1_a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi 1_b}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\phi 2_a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi 2_b}{2}\right)^2} - a \cdot \sin(\alpha_n)}{P_b} = 1.727$$

Razão de condução

3) 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:

$$\beta := 15 \text{ deg}$$

ângulo de pressão

$$b := 45 \text{ mm}$$

largura da engrenagem

$$\alpha_t := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = 20.647 \cdot \text{deg}$$

ângulo de pressão transversal

$$\beta_b := \text{atan}(\tan(\beta) \cdot \cos(\alpha_t)) = 14.076 \cdot \text{deg}$$

ângulo de hélice de base

$$m_t := \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 3.106 \cdot \text{mm}$$

módulo transversal

$$p_t := m_t \cdot \pi = 9.757 \cdot \text{mm}$$

Passo transversal

$$P_{bt} := p_t \cdot \cos(\alpha_t) = 9.131 \cdot \text{mm}$$

Passo de base transversal

$$s_t := \frac{P_t}{2} = 4.879 \cdot \text{mm}$$

Espessura transversal do dente no diâmetro primitivo

$$z_{\text{min}} := \frac{2 \cdot k \cdot \cos(\beta)}{\sin(\alpha_t)^2} = 18.133$$

Número mínimo de dentes

$$z_1 := 19$$

$$z_2 := \text{round}(i_{\text{nom}} \cdot z_1) = 153$$

Número de dentes

$$i := \frac{z_2}{z_1} = 8.053$$

Relação de transmissão efetiva

$$\phi 1 := m_t \cdot z_1 = 59.011 \cdot \text{mm}$$

$$\phi 2 := m_t \cdot z_2 = 475.192 \cdot \text{mm}$$

Diâmetro primitivo

$$r_1 := \frac{\phi 1}{2} = 29.505 \cdot \text{mm}$$

$$r_2 := \frac{\phi 2}{2} = 237.596 \cdot \text{mm}$$

Raio primitivo

$$a := r_1 + r_2 = 267.101 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m_t = 267.101 \cdot \text{mm}$$

Distância entre centros

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

Altura do dente

$$\phi 1_a := \phi 1 + 2 \cdot m_n = 65.011 \cdot \text{mm}$$

$$\phi 2_a := \phi 2 + 2 \cdot m_n = 481.192 \cdot \text{mm}$$

Diâmetro de adendo

$$\phi 1_d := \phi 1 - 2 \cdot m_n \cdot k = 52.009 \cdot \text{mm}$$

$$\phi 2_d := \phi 2 - 2 \cdot m_n \cdot k = 468.19 \cdot \text{mm}$$

Diâmetro do pé do dente

$$\phi 1_b := \phi 1 \cdot \cos(\alpha_t) = 55.221 \cdot \text{mm}$$

$$\phi 2_b := \phi 2 \cdot \cos(\alpha_t) = 444.671 \cdot \text{mm}$$

Diâmetro de base

$$z_{1v} := \frac{z_1}{\cos(\beta)^3} = 21.083$$

$$z_{2v} := \frac{z_2}{\cos(\beta)^3} = 169.77$$

Número virtual de dentes

$$\epsilon_{\alpha} := \frac{\sqrt{\left(\frac{\phi 1_a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi 1_b}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{\phi 2_a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\phi 2_b}{2}\right)^2} - a \cdot \sin(\alpha_t)}{P_{bt}} = 1.633$$

Razão de condução

$$\epsilon_{\beta} := \frac{b \cdot \tan(\beta)}{\pi \cdot m_t} = 1.236$$

Recobrimento axial

4) Considerando a transmissão helicoidal da questão 3 da prova para transmitir a seguinte potência:

$$P := 3 \cdot \text{kW}$$

Potência a ser transmitida

$$\omega := 3460 \text{rpm}$$

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

$$T := \frac{P}{\omega} = 8.28 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Torque no eixo

$$T = 8.28 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$F_t := \frac{T}{r_1} = 281 \text{N}$$

Força tangencial

$$y_M := \frac{a \cdot F_t}{r_1 \cdot r_2 \cdot b} = 0.238 \cdot \text{MPa}$$

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

$$y_\alpha := \frac{2}{\sin(2 \cdot \alpha_t)} = 3.031$$

Fator do ângulo de pressão:

$$y_\epsilon := \frac{\cos(\beta_b)}{\epsilon_\alpha} = 0.594$$

Fator das linhas de contato

$$\sigma_{HB} := \sqrt{y_M \cdot y_E \cdot y_\alpha \cdot y_\epsilon} = 124.6 \cdot \text{MPa}$$

Tensão de contato básica

$$v_t := \omega \cdot r_1 = 10.691 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidade tangencial

$$k_d := 1.4$$

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

$$\psi_d := \frac{b}{\phi_1} = 0.8$$

Relação entre largura e diâmetro da engrenagem

$$k_e := 1.45$$

Pinhão em balanço

$$k_s := 1.25$$

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

$$\sigma_H := \sqrt{y_M \cdot y_E \cdot y_\alpha \cdot y_\epsilon \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_s} = 199 \cdot \text{MPa}$$

Tensão de contato em serviço

Cálculo da tensão de flexão:

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

Altura a ser considerada para cálculo

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

Arredondamento no pé do dente

$$z_{1v} = 21.083$$

Numero de dentes virtuais para consulta do Y.F

$$Y_F := 2.75$$

Fator de forma de Maag

$$Y_\beta := 1 - \frac{\beta}{120 \text{deg}} = 0.875$$

Fator de hélice

$$\sigma_{bf} := \frac{F_t}{b \cdot m_n \cdot \varepsilon_{\alpha}} \cdot Y_F \cdot Y_{\beta} = 3.06 \cdot \text{MPa}$$

$$t := \sqrt{\frac{6 \cdot h_{tf} \cdot m_n}{Y_F}} = 6.523 \cdot \text{mm}$$

$$K_t := .18 + \left(\frac{t}{\rho_f}\right)^{.15} \cdot \left(\frac{t}{h_{tf}}\right)^{.45} = 1.5$$

$$q := 1$$

$$K_{t_f} := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.5$$

$$\sigma_f := \sigma_{bf} \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_s \cdot K_{t_f} = 11.63 \cdot \text{MPa}$$

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