

ЗАДАТАК

Проверити степене сигурности бокова и подножја зубаца зупчаника 1 (Ћ 4320) и 2 (Ћ 1221) из претходног задатка (прорачун геометрије са IV недеље наставе). Степен толеранције је IT 7.

Потребни подаци из претходног задатка:

$$P_1 = 11 \text{ [kW]}; n_1 = 962,5 \text{ [o/min]}$$

$$r_1 = 30,67 \text{ [mm]}; r_{w1} = 30,93 \text{ [mm]}; \beta = 12^\circ; a = 150 \text{ [mm]}; m_n = 3; \alpha_{1-2} = 20,41^\circ; \alpha_{w1-2} = 20,656^\circ; \varepsilon_\beta = 1,103; \varepsilon_\alpha = 1,573; z_1 = 20; z_2 = 77; \varphi = 0,8$$

1. ОПТЕРЕЋЕЊЕ И РАСПОДЕЛА ОПТЕРЕЋЕЊА

- Номинална тангентна сила

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{P_1}{r_1 \cdot \omega_1} = \frac{11 \cdot 10^3}{30,67 \cdot 10^{-3} \cdot 100,53} \cong 3538 \text{ [N]}$$

Где је угаона брзина једнака:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{\pi \cdot 962,5}{30} = 100,8 \text{ [rad/s]}$$

- Фактор спољашњих динамичких сила

$$K_A = 1,25 \text{ – таблица 8.7 (страна у књизи 290)}$$

- погонска машина је електромотор
- радна машина са средњим ударима

- Фактор унутрашњих динамичких сила

$$K_V = f\left(IT; \frac{v \cdot z_1}{100}; \varepsilon_\beta\right) = 1,03 \text{ – таблица 8.7 (страна у књизи 290)}$$

Где су:

$$\varepsilon_\beta = 1,103 > 1 \rightarrow K_V = K_{V\beta} = f\left(IT; \frac{v \cdot z_1}{100}\right) = f(7; 0,62) = 1,03$$

IT7

$$\frac{v \cdot z_1}{100} = \frac{3,1 \cdot 20}{100} = 0,62$$

$$v = r_{w1} \omega_1 = 30,93 \cdot 10^{-3} \cdot 100,8 \approx 3,1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

- Фактор неравномерне расподеле оптерећења на парове зубаца у спрези

$$K_{H\alpha} = f\left(\frac{F_t K_A K_V}{b}; IT; \frac{\text{отврднуте}}{\text{неотврднуте}} \text{ површине бокова}; \frac{\text{прави}}{\text{коси}} \text{ зупци}\right) = (91,1 < 100; IT7; \text{отврднуте; коси}) = 1,63 > 1,4 \text{ – таблица 8.8 (страна у књизи 291)}$$

Где су:

$$\frac{F_t K_A K_V}{b} = \frac{3538 \cdot 1,25 \cdot 1,04}{50} = 91,1 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}}\right] < 100 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}}\right]$$

$$b = \varphi \cdot d_1 = 0,8 \cdot 2 \cdot 30,67 = 49,072 = 50 \text{ mm}$$

IT7

$$K_{H\alpha} = K_{H\beta} = \frac{\varepsilon_{\alpha}}{\cos^2 \beta_b} = \frac{1,573}{\cos^2 11,266^\circ} = 1,634 > 1,4$$

$$\tan \beta_b = \tan \beta \cdot \cos \alpha = \tan 12^\circ \cdot \cos 20,41^\circ = 0,19921 \rightarrow \beta_b = \tan^{-1} 0,19921 = 11,266^\circ$$

- Фактор неравномерне расподеле оптерећења дуж зубаца у спрези

$$K_{H\beta} = K_{F\beta}^{1,39} = 1,256^{1,39} = 1,372 \text{ - таблица 8.8 (страна у књизи 291)}$$

Где су:

$$K_{F\beta} = 1 + (K_{\beta} - 1)f_w f_p f_l = 1 + (1,16 - 1) \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 = 1,256$$

$$K_{\beta} = f(IT; b) = (7; 50) = 1,16$$

$$f_w = f\left(\frac{F_t K_A K_V}{b}\right) = f(91,1) = 1,6$$

$$f_p = f(\check{C}/\check{C}) = 1$$

$$f_l = f(\text{симетричан положај}) = 1$$

2. ПРОРАЧУН БОКОВА

Радни напон на боковима зубаца зупчаника 1 и 2 је:

$$\begin{aligned} \sigma_H = \sigma_{H1} = \sigma_{H2} &= Z_E Z_H Z_{\varepsilon} Z_{\beta} \sqrt{\frac{F_{t1}}{b \cdot d_1} \frac{u_{1-2} + 1}{u_{1-2}} K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta}} \\ &= 189,8 \cdot 2,37 \cdot 0,797 \cdot 0,989 \sqrt{\frac{3538}{50 \cdot 61,34} \cdot \frac{3,85 + 1}{3,85} \cdot 1,25 \cdot 1,03 \cdot 1,635 \cdot 1,37} = 726,7 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \end{aligned}$$

- Фактор еластичности спрегнутих материјала - таблица 8.9 (страна у књизи 292)

$$Z_E = \sqrt{0,175E} = f(\check{C}/\check{C}) = 189,8 \sqrt{\frac{N}{mm^2}}$$

- Фактор облика бока зупца - страна у књизи 277

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha_{1-2}} \sqrt{\frac{2 \cos \beta_{b1-2}}{\operatorname{tg} \alpha_{w1-2}}} = \frac{1}{\cos 20,41^\circ} \sqrt{\frac{2 \cdot \cos 11,266^\circ}{\operatorname{tg} 21,656^\circ}} = 2,37$$

- Фактор утицаја степена спрезања - страна у књизи 277

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{\alpha}}} = \sqrt{\frac{1}{1,573}} = 0,797$$

$$\text{Где је: } \varepsilon_{\beta} = 1,103 > 1 \rightarrow Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{\alpha}}}$$

- Фактор утицаја нагиба зубаца - страна у књизи 277

$$Z_{\beta} = \sqrt{\cos \beta} = \sqrt{\cos 12^\circ} = 0,989$$

Критични напони на боковима зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$[\sigma_H]_1 = \sigma_{H_{lim\ 1}} \cdot Z_{L1} \cdot Z_{V1} \cdot Z_{R1} \cdot Z_{W1} \cdot Z_{X1} \cdot Z_N \cdot Z_\sigma = 1480 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1392 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$[\sigma_H]_2 = \sigma_{H_{lim\ 2}} \cdot Z_{L2} \cdot Z_{V2} \cdot Z_{R2} \cdot Z_{W2} \cdot Z_{X2} \cdot Z_N \cdot Z_\sigma = 1480 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1392 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

- Трајне динамичке издржљивости бокова зупчаника модела - таблица 8.11 (страна у књизи 294)

$$\sigma_{H_{lim\ 1}} = 1480 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \text{ - цементиран}$$

$$\sigma_{H_{lim\ 2}} = 1480 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \text{ - цементиран}$$

- Фактор утицаја вискозности уља за подмазивање - таблица 8.9 (страна у књизи 292)

$$Z_L = f(v_{40}; \sigma_{H_{lim}}) = (150; 1480 \geq 1200) = 0,98 = Z_{L1} = Z_{L2}$$

Где су:

$$v_{40} = f\left(\frac{F_t K_A K_V}{b \cdot m_n}; v\right) = (30,37; 3,1) = 150 \left[\frac{mm^2}{s} \right]$$

$$\frac{F_t K_A K_V}{b \cdot m_n} = \frac{3538 \cdot 1,25 \cdot 1,03}{50 \cdot 3} = 30,37 > 30 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$v = 3,1 \left[\frac{m}{s} \right]$$

- Фактор утицаја брзине клизања - таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Z_V = f(v; \sigma_{H_{lim}}) = (3,1; 1480 \geq 1200) = 0,96 = Z_{V1} = Z_{V2}$$

- Фактор утицаја храпавости бокова зубаца- таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Z_R = f(R_r; \sigma_{H_{lim}}) = f(3,061; 1480 \geq 1200) = 1 = Z_{R1} = Z_{R2}$$

Где су:

$$R_r = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{a}} = \frac{3 + 4}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{150}} = 3,061$$

$$R_{r1(\text{брушење, IT7})} \rightarrow R_{z1} = 3 \div 4 = 3[\mu m]$$

$$R_{r2(\text{брушење, IT7})} \rightarrow R_{z2} = 3 \div 4 = 4[\mu m]$$

- Фактор утицаја разлике у тврдоћи бокова - таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Z_W = 1 = Z_{W1} = Z_{W2}$$

- Фактор утицаја величине зупца - таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Z_X = 1 = Z_{X1} = Z_{X2}$$

- Фактор временске издржљивости - таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Z_N = 1$$

- Фактор радне издржљивости - таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Z_\sigma = 1$$

Степени сигурности бокова зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$S_{H1} = \frac{[\sigma_H]_1}{\sigma_H} = \frac{1392}{726,7} = 1,92$$

$$S_{H2} = \frac{[\sigma_H]_2}{\sigma_H} = \frac{1392}{726,7} = 1,92$$

$$1,25 \leq S_{H1,2} \leq 2,5$$

Коментар: У току рада неће доћи до појаве критичног хабања, тј. разарања бокова зубаца зупчаника 1 и 2

3. ПРОРАЧУН ПОДНОЖЈА

Радни напони у подножјима зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$\begin{aligned}\sigma_{F1} &= Y_{Fa1} Y_{Sa1} Y_\varepsilon Y_\beta \frac{F_t}{b \cdot m_n} K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} = 2,29 \cdot 1,77 \cdot 0,727 \cdot 0,89 \cdot \frac{3538}{50 \cdot 3} \cdot 1,25 \cdot 1,03 \cdot 1,635 \cdot 1,373 \\ &= 178,8 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{F2} &= Y_{Fa2} Y_{Sa2} Y_\varepsilon Y_\beta \frac{F_t}{b m_n} K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} = 2,24 \cdot 1,77 \cdot 0,727 \cdot 0,89 \cdot \frac{3538}{50 \cdot 3} \cdot 1,25 \cdot 1,03 \cdot 1,635 \cdot 1,373 \\ &= 174,9 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]\end{aligned}$$

- Фактор облика подножја зупца - таблица 8.12 (страна у књизи 295)

$$Y_{Fa1} = f(z_{n1}; x_1) = f(21,37; 0,42) = 2,29$$

$$Y_{Fa2} = f(z_{n2}; x_2) = f(82,28; 0) = 2,24$$

Где су:

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{20}{\cos^3 12^\circ} = 21,37$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta} = \frac{77}{\cos^3 12^\circ} = 82,28$$

- Фактор концентрације напона у подножју зубаца - таблица 8.12 (страна у књизи 295)

$$Y_{Sa1} = f(z_{n1}; x_1) = f(21,37; 0,42) = 1,77$$

$$Y_{Sa2} = f(z_{n2}; x_2) = f(82,28; 0) = 1,77$$

- Фактор крака силе - страна у књизи 281

$$Y_{\varepsilon} = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_{\alpha}} = 0,25 + \frac{0,75}{1,573} = 0,727$$

- Фактор нагиба зубаца - страна у књизи 281

$$Y_{\beta} = 1 - \varepsilon_{\beta} \frac{\beta[^\circ]}{120^\circ} = 1 - \varepsilon_{\beta} \frac{12^\circ}{120^\circ} = 0,9 \quad - \text{за } \varepsilon_{\beta} = 1,103 > 1 \text{ узима се вредност } 1$$

Критични напони у подножјима зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$[\sigma_F]_1 = \sigma_{Flim 1} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{RT1} \cdot Y_{\delta R1} \cdot Y_{X1} \cdot Y_N \cdot Y_{\sigma} = 416 \cdot 2 \cdot 1,06 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 881,9 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$[\sigma_F]_2 = \sigma_{Flim 2} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{RT2} \cdot Y_{\delta R2} \cdot Y_{X2} \cdot Y_N \cdot Y_{\sigma} = 416 \cdot 2 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 873,6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

- Трајне динамичке издржљивости подножја зупчаника модела - таблица 8.11 (страна у књизи 294)

$$\sigma_{Flim 1} = 416 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad - \text{цементиран}$$

$$\sigma_{Flim 2} = 416 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad - \text{цементиран}$$

- Фактор концентрације напона у подножју зубаца - страна у књизи 282

$$Y_{ST} = 2$$

- Фактор утицаја разлике у храпавости - таблица 8.13 (страна у књизи 296)

$$Y_{RT1} = f(R_{z1}; \text{материјал}) = f(3; \text{цементиран}) = 1,06$$

$$Y_{RT2} = f(R_{z2}; \text{материјал}) = f(4; \text{цементиран}) = 1,05$$

- Фактор утицаја разлике у осетљивости на концентрацију напона - таблица 8.13 (страна у књизи 296)

$$Y_{\delta R1} = f(Y_{Sa1}; \text{материјал}) = f(1,77; \text{цементиран}) \approx 1$$

$$Y_{\delta R2} = f(Y_{Sa2}; \text{материјал}) = f(1,77; \text{цементиран}) \approx 1$$

- Фактор утицаја разлике у величини зубаца - таблица 8.13 (страна у књизи 296)

$$Y_{X1} = f(m_n; \text{материјал}) = f(3; \text{цементиран}) = 1$$

$$Y_{X2} = f(m_n; \text{материјал}) = f(3; \text{цементиран}) = 1$$

- Фактор временске издржљивости - таблица 8.13 (страна у књизи 296)

$$Y_N = 1$$

- Фактор радне издржљивости - таблица 8.10 (страна у књизи 293)

$$Y_\sigma = Z_\sigma = 1$$

Степени сигурности подножја зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$S_{F1} = \frac{[\sigma_F]_1}{\sigma_{F1}} = \frac{881,9}{178,8} = 4,93$$

$$S_{F2} = \frac{[\sigma_H]_2}{\sigma_{F2}} = \frac{873,6}{174,9} = 5$$

$$S_{F1,2} > 2,5$$

Коментар: У току рада неће доћи до лома зубаца у подножјима

-