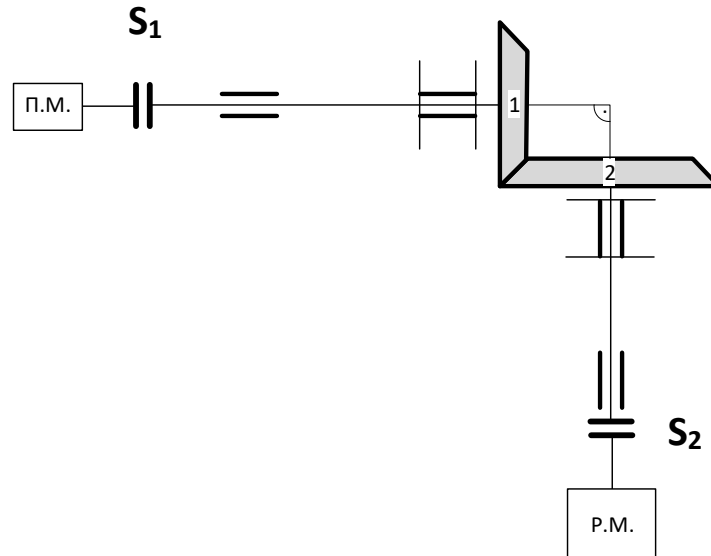


ЗАДАТАК – Прорачун конусног пара

Проверити чврстоћу (површинску и запреминску) зубаца конусног зупчастог пара на слици. Конусни пар зупчаника, са правим зупцима, је са бројевима зубаца $z_1 = 18$ и $z_2 = 37$, модулом на спољнем конусу $m = 5$ [mm] и степеном спрезања $\varepsilon_\alpha = 1,6$. Зупци су ширине 25 [mm], без померања профила ($x_1 = x_2 = 0$; $\alpha_n = 20^\circ$) и израђени глодањем са степеном толеранције IT7. Зупчаници су од челика Č1731 - побољшан (зупчаник 1) и Č1531 – побољшан (зупчаник 2) и спрежу се под углом од 90° . Погонска машина даје обртни момент $T_1 = 48,7$ [Nm] при учестаности обртања од $n_1 = 980$ [°/min]. Рад погонске и радне машине је равномеран, а критични напони зупчаника су приближно једнаки критичним напонима зупчаника модела (еталон зупчаника).



Решење:

1. ОПТЕРЕЋЕЊЕ И РАСПОДЕЛА ОПТЕРЕЋЕЊА

- Углови конуса:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{u} = \frac{1}{2,056} = 0,4865 \rightarrow \delta_1 = 25,9423^\circ$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = u \text{ или } \delta_2 = 90 - \delta_1 = 90^\circ - 25,9423^\circ = 64,0577^\circ$$

где је:

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{37}{18} = 2,056$$

- Модул на средњем пречнику:

$$m_m = m - \frac{b \cdot \sin \delta_1}{z_1} = 5 - \frac{25 \cdot \sin 25,9423^\circ}{18} = 4,39241 \text{ [mm]}$$

- Средњи пречник:

$$d_{m1} = m_m \cdot z_1 = 4,39241 \cdot 18 = 79,063 \text{ [mm]}$$

- Номинална тангентна сила

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 48,7}{79,063 \cdot 10^{-3}} \approx 1232 \text{ [N]}$$

- Фактор спољашњих динамичких сила – таблица 8.7 (страна у књизи 290)

$$K_A = 1$$

- рад погонске и радне машине је равномеран

- Фактор унутрашњих динамичких сила – таблица 8.15 (страна у књизи 310)

$$K_V = 1 + (K_{350} N) \cdot f_F = 1 + 0,05 \cdot 2,75 = 1,1375 \approx 1,14$$

Где су:

$$K_{350} N = f \left(\frac{z_1 V}{100} \sqrt{\frac{u^2}{u^2 + 1}}; IT; \frac{\text{прави}}{\text{коси}} \text{ зупци} \right) = f(0,59; ; 7; \text{прави}) = 0,05$$

$$\frac{z_1 \cdot v}{100} \sqrt{\frac{u^2}{u^2 + 1}} = \frac{18 \cdot 4,06}{100} \sqrt{\frac{2,056^2}{2,056^2 + 1}} = 0,59 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v = r \cdot \omega = r_{m1} \cdot \omega_1 = \frac{d_{m1}}{2} \cdot \omega_1 = \frac{79,063 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 102,6 = 4,06 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{\pi \cdot 980}{30} = 102,6 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

$$f_F = f \left(\frac{K_A F_t}{b}; IT \right) = f(49,3; 7) = 2,75$$

$$\frac{K_A F_t}{b} = \frac{1 \cdot 1232}{25} = 49,3 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

- Фактор неравномерне расподеле оптерећења на парове зубаца у спрези – таблица 8.8 (страна у књизи 291)

$$K_{H\alpha} = f \left(\frac{F_t K_A K_V}{b}; IT; \frac{\text{отврднуте}}{\text{неотврднуте}} \text{ површине бокова; } \frac{\text{прави}}{\text{коси}} \text{ зупци} \right) = (56,05 < 100; 7; \text{отврднуте; прави}) = \frac{1}{z_\varepsilon^2} = \frac{1}{0,894^2} = 1,25 \geq 1,2$$

Где су:

$$\frac{F_t K_A K_V}{b} = \frac{1232 \cdot 1 \cdot 1,14}{25} = 56,05 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right] < 100 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

IT7

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,6}{3}} = 0,894 \text{ пошто је } \varepsilon_\beta = 0$$

$$K_{F\alpha} = f \left(\frac{F_t K_A K_V}{b}; IT; \frac{\text{отврднуте}}{\text{неотврднуте}} \text{ површине бокова; } \frac{\text{прави}}{\text{коси}} \text{ зупци} \right) = (56,05 < 100; 7; \text{отврднуте; прави}) = \frac{1}{Y_\varepsilon} = \frac{1}{0,719} = 1,39 \geq 1,2$$

- Фактор неравномерне расподеле оптерећења дуж зубаца у спрези – таблица 8.15 (страна у књизи 310)

$$K_{H\beta} = K_{F\beta} = f(\text{положаја; примене}) = f(\text{оба на препусту; општа индустрија}) = 2,25$$

2. ПРОРАЧУН БОКОВА

Радни напон на боковима зубаца зупчаника 1 и 2 је:

$$\sigma_H = \sigma_{H1} = \sigma_{H2} = Z_E Z_H Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{F_t}{bd_{w1}} \frac{\sqrt{u^2 + 1}}{u} K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta}} = 189,8 \cdot 2,5 \cdot 0,894 \cdot 1 \sqrt{\frac{1232}{25 \cdot 79,063} \frac{\sqrt{2,056^2 + 1}}{2,056} \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1,25 \cdot 2,25} \\ = 630,6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

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

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

- Фактор облика бока зупца - страна у књизи 277

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\operatorname{tg} \alpha_w}} = \frac{1}{\cos \alpha_n} \sqrt{\frac{2}{\operatorname{tg} \alpha_n}} = \frac{1}{\cos 20^\circ} \sqrt{\frac{2}{\operatorname{tg} 20^\circ}} = 2,5$$

- Фактор утицаја степена спрезања - страна у књизи 277

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,6}{3}} = 0,894 \text{ пошто је } \varepsilon_\beta = 0$$

- Фактор утицаја нагиба зубаца - страна у књизи 277

$$Z_\beta = \sqrt{\cos \beta} = \sqrt{\cos 0^\circ} = 1$$

Критични напони на боковима зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$[\sigma_H]_1 \cong \sigma_{H_{lim 1}} = 730 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$[\sigma_H]_2 = \sigma_{H_{lim 2}} = 610 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

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

$$\sigma_{H_{lim 1}} = 730 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \text{ - побољшан}$$

$$\sigma_{H_{lim 2}} = 610 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \text{ - побољшан}$$

Степени сигурности бокова зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$S_{H1} = \frac{[\sigma_H]_1}{\sigma_H} = \frac{730}{630,6} = 1,158$$

$$S_{H2} = \frac{[\sigma_H]_2}{\sigma_H} = \frac{610}{630,6} = 0,967$$

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

Коментар: Зупци овог зупчастог пара немају потребну површинску чврстоћу (површинску носивост) у току неограниченог радног века, тј. немају потребну површинску динамичку чврстоћу, већ временски ограничену. Мере које се могу предузети су следеће:

- употребити материјал веће површинске динамичке чврстоће или употребити термичку обраду за постојећи материјал, на пример површинско каљење;
- конструисати већи зупчаник, повећањем модула до прве веће стандардне вредности;
- ограничити рад зупчастог пара на број циклуса који одговара израчунатим напонима, ако то задовољава корисника, и након тога их заменити новим.

3. ПРОРАЧУН ПОДНОЖЈА

Радни напони у подножјима зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$\sigma_{F1} = Y_{Fa1} Y_{Sa1} Y_{\varepsilon} Y_{\beta} \frac{F_t}{b \cdot m_n} K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} = 2,86 \cdot 1,56 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot \frac{1232}{25 \cdot 4,39} \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1,39 \cdot 2,25 = 128,1 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_{F2} = Y_{Fa2} Y_{Sa2} Y_{\varepsilon} Y_{\beta} \frac{F_t}{b m_n} K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} = 2,235 \cdot 1,78 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot \frac{1232}{25 \cdot 4,39} \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1,39 \cdot 2,25 = 114,2 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

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

$$Y_{Fa1} = f(z_{n1}; x_1) = f(20; 0) = 2,86$$

$$Y_{Fa2} = f(z_{n2}; x_2) = f(84,6; 0) = 2,235$$

Где су:

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = \frac{18}{\cos 25,94^\circ} = 20,02$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2} = \frac{37}{\cos 64,06^\circ} = 84,58$$

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

$$Y_{Sa1} = f(z_{n1}; x_1) = f(20; 0) = 1,56$$

$$Y_{Sa2} = f(z_{n2}; x_2) = f(84,58; 0) = 1,78$$

- Фактор крака силе - страна у књизи 281

$$Y_{\varepsilon} = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_{\alpha}} = 0,25 + \frac{0,75}{1,6} = 0,72$$

- Фактор нагиба зубаца - страна у књизи 281

$$Y_{\beta} = 1 - \text{за } \beta = 0^\circ$$

Критични напони у подножјима зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$[\sigma_F]_1 = \sigma_{Flim 1} = 280 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$[\sigma_F]_2 = \sigma_{Flim 2} = 250 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

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

$$\sigma_{Fim 1} = 280 \left[\frac{N}{mm^2} \right] - \text{побољшан}$$

$$\sigma_{Fim 2} = 250 \left[\frac{N}{mm^2} \right] - \text{побољшан}$$

Степени сигурности подножја зубаца зупчаника 1 и 2 су:

$$S_{F1} = \frac{[\sigma_F]_1}{\sigma_{F1}} = \frac{280}{128,1} = 2,18$$

$$S_{F2} = \frac{[\sigma_H]_2}{\sigma_{F2}} = \frac{250}{114,2} = 2,19$$

$$1,25 < S_{F1,2} < 2,5$$

Коментар: У току рада неће доћи до лома зубаца у подножјима, али ови степени сигурности ће бити значајно већи ако се усвоји јачи материјал због малог степена сигурности на боковима.