

Apskritakrumplės kūginės perdavos projektavimas

Pradiniai duomenys:

$$T_4 = 27,8 \text{ Nm} \quad \text{ir} \quad T_5 = 83,0 \text{ Nm};$$

$$n_4 = 725 \text{ min}^{-1} \quad \text{ir} \quad n_5 = 234 \text{ min}^{-1};$$

$$u_{45} = u_{12} = 3,1;$$

perdavos eksploataavimo laikas $t_h = 22\,100 \text{ h}$;

darbo režimas sunkus;

apkrovos pobūdis: varančiosios mašinos – pastovi apkrova,
varomojo įrenginio – smūginė apkrova.

Medžiagų parinkimas. Numatome abiejų reduktoriaus perdavų krumpliaračius gaminti iš vienos medžiagos, todėl parenkame šias krumpliaračių medžiagas ir terminį apdorojimą:

- mažasis krumpliaratis (4) – plienas 37Cr4, termocheminis apdorojimas – nitrocementacija, $H_{HV\,m\,4} = 615 \text{ HV}$, $S_{H\,lim\,4} = 1\,290 \text{ MPa}$, $S_{F\,lim\,4} = 740 \text{ MPa}$, $S_{yt\,4} = 1\,350 \text{ MPa}$, $S_{ut\,4} = 1\,570 \text{ MPa}$;
- didysis krumpliaratis (5) – plienas 37Cr4, terminis apdorojimas – grūdinimas ADS, $H_{HV\,m\,5} = 600 \text{ HV}$, $S_{H\,lim\,5} = 1\,140 \text{ MPa}$, $S_{F\,lim\,5} = 450 \text{ MPa}$, $S_{yt\,5} = 540 \text{ MPa}$, $S_{ut\,5} = 790 \text{ MPa}$.

Krumpliaračių kietumai HB vienetais:

$$H_{HB\,m\,4} = \frac{H_{HV\,m\,4} + 5}{1,07} = \frac{615 + 5}{1,07} = 579 \text{ HB};$$

$$H_{HB\,m\,5} = \frac{H_{HV\,m\,5} + 5}{1,07} = \frac{600 + 5}{1,07} = 565 \text{ HB}.$$

Krumpliaračių krumplio kontaktinių ir lenkimo įtempių ciklų skaičiai

$$N_4 = 60 \cdot c \cdot n_4 \cdot t_h = 60 \cdot 1 \cdot 725 \cdot 22\,100 = 961,350 \cdot 10^6;$$

$$N_5 = 60 \cdot c \cdot n_5 \cdot t_h = 60 \cdot 1 \cdot 234 \cdot 22\,100 = 310,113 \cdot 10^6.$$

Leistinieji kontaktiniai įtempiai. Darbo režimo koeficientas:

$$X_H = 0,50.$$

Ekvivalentiniai kontaktinių įtempių ciklų skaičiai:

$$N_{H\,4} = N_4 \cdot X_H = 961,350 \cdot 10^6 \cdot 0,50 = 480,675 \cdot 10^6;$$

$$N_{H\,5} = N_5 \cdot X_H = 310,113 \cdot 10^6 \cdot 0,50 = 155,056 \cdot 10^6.$$

Kontaktinių įtempių baziniai ciklų skaičiai:

$$N_{H\,lim\,4} = N_{H\,lim\,5} = 120 \cdot 10^6.$$

Ilgamžiškumo koeficientai:

$$Z_{N_4} = \max\left(0,85; \sqrt[20]{\frac{N_{H\,lim\,4}}{N_{H\,4}}}\right) = \max\left(0,85; \sqrt[20]{\frac{120 \cdot 10^6}{480,675 \cdot 10^6}}\right) = \max(0,85; 0,933) = 0,933;$$

$$Z_{N_5} = \max\left(0,85; \sqrt[20]{\frac{N_{H\,lim\,5}}{N_{H\,5}}}\right) = \max\left(0,85; \sqrt[20]{\frac{120 \cdot 10^6}{155,056 \cdot 10^6}}\right) = \max(0,85; 0,987) = 0,987.$$

Krumpliaračių leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$\sigma_{H\,adm\,4} = \frac{\sigma_{H\,lim\,4} \cdot Z_{N_4}}{S_{H\,adm}} = \frac{1\,290 \cdot 0,933}{1,2} = 1\,003 \text{ MPa, imame } S_{H\,adm\,4} = 1\,000 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{H\,adm\,5} = \frac{\sigma_{H\,lim\,5} \cdot Z_{N_5}}{S_{H\,adm}} = \frac{1\,140 \cdot 0,987}{1,2} = 938 \text{ MPa, imame } S_{H\,adm\,5} = 940 \text{ MPa}.$$

Projektiniai leistinieji kontaktiniai įtempiai

$$S_{H\,adm} = 0,45 (S_{H\,adm\,4} + S_{H\,adm\,5}) = 0,45 (1\,000 + 940) = 873 \text{ MPa; imame } S_{H\,adm} = 875 \text{ MPa}.$$

Tikriname, ar tenkinama sąlyga:

$$\min(S_{H\,adm\,4}; S_{H\,adm\,5}) \leq S_{H\,adm} \leq 1,15 \min(S_{H\,adm\,4}; S_{H\,adm\,5});$$

$$940 \leq 870 \leq 1\,080 \text{ – sąlyga netenkinama, todėl imame } S_{H\,adm} = 940 \text{ MPa}.$$

Leistinieji lenkimo įtempiai. Darbo režimo koeficientai:

$$X_{F4} = X_{F5} = 0,20.$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
					1
Keit.	Dokum. Nr.	Data			

Ekvivalentiniai kontaktinių įtempių ciklų skaičiai:

$$N_{F4} = N_4 X_{F4} = 961,350 \cdot 10^6 \cdot 0,20 = 192,270 \cdot 10^6;$$

$$N_{F5} = N_5 X_{F5} = 310,113 \cdot 10^6 \cdot 0,20 = 62,023 \cdot 10^6.$$

Ilgamžiškumo koeficientai:

$$Y_{N4} = Y_{N5} = 1,00.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinamas kintamos jėgos veikimas

$$Y_A = 1,00.$$

Krumpliaračių leistinieji lenkimo įtempiai:

$$\sigma_{F adm4} = \frac{\sigma_{F lim4} Y_{N4} Y_A}{S_{F adm}} = \frac{740 \cdot 1,00 \cdot 1,00}{1,8} = 411 \text{ MPa, imame } S_{F adm4} = 410 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F adm5} = \frac{\sigma_{F lim5} Y_{N5} Y_A}{S_{F adm}} = \frac{450 \cdot 1,00 \cdot 1,00}{1,8} = 250 \text{ MPa.}$$

Projektiniai leistinieji lenkimo įtempiai:

$$S_{F adm} = \min(S_{F adm4}; S_{F adm5}) = \min(410; 250) = 250 \text{ MPa.}$$

Didžiojo krumpliaračio išorinio dalijamojo skersmens nustatymas. Pločio koeficientas: $y_{bR} = b / R_e = 0,3$.

Apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficientas:

$$K_{H\beta} = \min\left(2,25; 1,5 + C_{H\beta} \left(\frac{\psi_{bR} u_{45}}{2 - \psi_{bR}}\right)^{1,25}\right) = \min\left(2,25; 1,5 + 0 \left(\frac{0,3 \cdot 3,1}{2 - 0,3}\right)^{1,25}\right) = \min(2,25; 1,50) = 1,50.$$

Apkrovos pobūdžio koeficientas

$$K_A = 1,75.$$

Didžiojo krumpliaračio išorinis dalijamasis skersmuo

$$d_{e5} \geq 1650 \sqrt[3]{\frac{K_A K_{H\beta} T_5 (u_{45} + 1)}{\sigma_{H adm}^2}} = 1650 \sqrt[3]{\frac{1,75 \cdot 1,50 \cdot 83,0 (3,1 + 1)}{940^2}} = 165,6 \text{ mm, imame } d_{e5} = 170 \text{ mm.}$$

Išorinis kūginis atstumas ir krumplių vainiko plotis. Išorinis kūginis atstumas

$$R_e = \frac{d_{e5} \sqrt{1 + u_{45}^2}}{2 u_{45}} = \frac{170 \sqrt{1 + 3,1^2}}{2 \cdot 3,1} = 89,31 \text{ mm.}$$

Krumplių vainiko plotis

$$b = y_{bR} R_e = 0,3 \cdot 147,1 = 26,8 \text{ mm, imame } b = 30 \text{ mm.}$$

Tikriname sąlygą $b \leq 0,35 R_e$: $30 \text{ mm} \leq 0,35 \cdot 89,31 = 31,3 \text{ mm}$ – sąlyga tenkinama.

Modulio nustatymas. Apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficientas

$$K_{Fb} = K_{Hb} = 1,50.$$

Išorinis modulis

$$m'_{te} = \frac{14 \cdot 10^3 K_A K_{Fb} T_5}{d_{e5} b \sigma_{F adm}} = \frac{14 \cdot 10^3 \cdot 1,75 \cdot 1,50 \cdot 83,0}{170 \cdot 30 \cdot 250} = 2,391 \text{ mm};$$

$$Z_{4 min} = \max[8; 5 + 17,8 \exp(-0,3 u_{45})] = \max[8; 3 + 17,8 \exp(-0,3 \cdot 3,1)] = \max(8; 12,0) = 12,0, \text{ imame } Z_{4 min} = 12;$$

$$Z_{4 max} = \max[11; 3 + 49,5 \exp(-0,3 u_{45})] = \max[11; 3 + 49,5 \exp(-0,3 \cdot 3,1)] = \max(11; 22,5) = 22,5, \text{ imame } Z_{4 max} = 23;$$

$$Z'_4 = Z_{4 min} + Z_{4 max} \left(1 - \frac{\beta}{60^\circ}\right) \cdot \min\left(0,1; 1 - \frac{H_{HV m4} + H_{HV m5}}{1600}\right) = 12 + 23 \left(1 - \frac{30^\circ}{60^\circ}\right) \cdot \min\left(0,1; 1 - \frac{615 + 600}{1600}\right) = 13,2, \text{ imame } Z'_4 = 13;$$

$$m''_{te} = \frac{d_{e5}}{Z'_4 u_{45}} = \frac{170}{13 \cdot 3,1} = 4,170 \text{ mm};$$

$$m_{te} = \max(2,00; m'_{te}; m''_{te}) = \max(2,000; 2,391; 4,170) = 4,170 \text{ mm, imame } m_{te} = 3,00 \text{ mm.}$$

Tikriname sąlygą $b \leq 10 m_{te}$:

$$30 \text{ mm} \leq 10 \cdot 3,00 = 30 \text{ mm} - \text{sąlyga tenkinama.}$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
					2
Keit.	Dokum. Nr.	Data			

Krumplių skaičiai. Didžiojo krumpliaračio krumplių skaičius

$$z_5 = \frac{d_{e5}}{m_{te}} = \frac{170}{3,00} = 56,7, \text{ imame } z_5 = 57.$$

Mažojo krumpliaračio krumplių skaičius

$$z_4 = \frac{z_5}{u_{45}} = \frac{57}{3,1} = 18,4, \text{ imame } z_4 = 18.$$

Tikriname sąlygą $z_4 \min \leq z_4 \leq z_4 \max$: $12 \leq 18 \leq 23$ – sąlyga tenkinama.

Tikrasis perdavos perdavimo skaičius

$$u_{45T} = \frac{z_5}{z_4} = \frac{57}{18} = 3,17.$$

Nukrypimas nuo pradinės perdavimo skaičiaus vertės:

$$\Delta u = \left| \frac{u_{45T} - u_{45}}{u_{45}} \right| 100\% = \left| \frac{3,17 - 3,1}{3,1} \right| 100\% = 2,15\% \leq 3\%.$$

Pagrindiniai geometriniai parametrai. Dalijamųjų kūgių kampai:

$$\delta_4 = \arctg \frac{1}{u_{45T}} = \arctg \frac{1}{3,17} = 17,52557^\circ;$$

$$\delta_5 = 90^\circ - \delta_4 = 90^\circ - 17,52557^\circ = 72,47443^\circ.$$

Didžiojo krumpliaračio išorinis dalijamasis skersmuo

$$d_{e5} = z_5 m_{te} = 57 \cdot 3,00 = 171 \text{ mm}.$$

Išorinis kūginis atstumas

$$R_e = \frac{d_{e5}}{2 \sin \delta_5} = \frac{171}{2 \sin 72,47443^\circ} = 89,66 \text{ mm}.$$

Tikriname sąlygą $b \leq 0,35 R_e$:

$$30 \text{ mm} \leq 0,35 \cdot 89,66 = 31,4 \text{ mm} - \text{sąlyga tenkinama}.$$

Krumpliaračių perstūmos koeficientai:

$$x_4 = 0,39 (1 - u_{45T}^{-2}) = 0,39 (1 - 3,17^{-2}) = 0,35, \text{ imame } x_4 = 0,34;$$

$$x_5 = -x_4 = -0,34.$$

Krumplio storio pokyčio koeficientai:

$$x_{t4} = 0,0173 (u_{45T} - 0,234) = 0,0173 (3,17 - 0,234) = 0,05;$$

$$x_{t5} = -x_{t4} = -0,05.$$

Vidutinis kūginis atstumas

$$R_m = R_e - 0,5 b = 89,66 - 0,5 \cdot 30 = 74,66 \text{ mm}.$$

Vidutinis modulis

$$m_{tm} = m_{te} \frac{R_m}{R_e} = 3,00 \frac{74,66}{89,66} = 2,498 \text{ mm}.$$

Krumpliaračių vidutiniai dalijamieji skersmenys:

$$d_{m4} = m_{tm} z_4 = 2,498 \cdot 18 = 44,97 \text{ mm};$$

$$d_{m5} = m_{tm} z_5 = 2,498 \cdot 57 = 142,4 \text{ mm}.$$

Krumplio galvutės aukščio, radialinio tarpelio ir krumplio kamieno aukščio koeficientai:

$$h_{a5}^* = 0,46 + 0,39 \frac{z_4 \cos \delta_5}{z_5 \cos \delta_4} = 0,46 + 0,39 \frac{18 \cdot \cos 72,47443^\circ}{57 \cdot \cos 17,52557^\circ} = 0,499;$$

$$h_{a4}^* = 1,7 - h_{a5}^* = 1,7 - 0,499 = 1,201;$$

$$c^* = 0,1888;$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
					3
Keit.	Dokum. Nr.	Data			

$$h_{f4}^* = h_{a4}^* + c^* = 1,201 + 0,1888 = 1,390;$$

$$h_{f5}^* = h_{a5}^* + c^* = 0,499 + 0,1888 = 0,688.$$

Didžiausi krumplio pašaknio aukščiai:

$$h_{fe4} = m_{te} (h_{f5}^* - x_4) = 3,00 (0,688 - 0,34) = 1,043 \text{ mm};$$

$$h_{fe5} = m_{te} (h_{f4}^* - x_5) = 3,00 (1,390 - (-0,34)) = 5,190 \text{ mm}.$$

Didžiausi krumplio galvutės aukščiai:

$$h_{ae4} = m_{te} (h_{a4}^* + x_4) = 3,00 (1,201 + 0,34) = 4,623 \text{ mm};$$

$$h_{ae5} = m_{te} (h_{a5}^* + x_5) = 3,00 (0,499 + (-0,34)) = 0,477 \text{ mm}.$$

Išoriniai dalijamieji skersmenys:

$$d_{e4} = m_{te} z_4 = 3,00 \cdot 18 = 54,00 \text{ mm};$$

$$d_{e5} = m_{te} z_5 = 3,00 \cdot 57 = 171,0 \text{ mm}.$$

Išoriniai pašaknų skersmenys:

$$d_{fe4} = d_{e4} - 2 h_{fe4} \cos d_4 = 54,00 - 2 \cdot 1,043 \cdot \cos 17,52557^\circ = 52,01 \text{ mm};$$

$$d_{fe5} = d_{e5} - 2 h_{fe5} \cos d_5 = 171,0 - 2 \cdot 5,190 \cdot \cos 72,47443^\circ = 167,9 \text{ mm}.$$

Išoriniai viršūnių skersmenys:

$$d_{ae4} = d_{e4} + 2 h_{ae4} \cos d_4 = 54,00 + 2 \cdot 4,623 \cdot \cos 17,52557^\circ = 62,82 \text{ mm};$$

$$d_{ae5} = d_{e5} + 2 h_{ae5} \cos d_5 = 171,0 + 2 \cdot 0,477 \cdot \cos 72,47443^\circ = 171,3 \text{ mm}.$$

Pašaknų kūgių kampai:

$$\delta_{f4} = \delta_4 - \arctg \frac{h_{fe4}}{R_e} = 17,52557 - \arctg \frac{1,043}{89,66} = 16,85905^\circ;$$

$$\delta_{f5} = \delta_5 - \arctg \frac{h_{fe5}}{R_e} = 72,47443 - \arctg \frac{5,190}{89,66} = 69,16179^\circ.$$

Viršūnių kūgių kampai:

$$\delta_{a4} = \delta_4 + \arctg \frac{h_{ae4}}{R_e} = 17,52557 + \arctg \frac{4,623}{89,66} = 20,47735^\circ;$$

$$\delta_{a5} = \delta_5 + \arctg \frac{h_{ae5}}{R_e} = 72,47443 + \arctg \frac{0,477}{89,66} = 72,77903^\circ.$$

Tikslumo laipsnio nustatymas. Krumpliaračių apskritiminis greitis

$$v = \frac{\pi d_{m4} n_4}{60000} = \frac{\pi \cdot 44,97 \cdot 725}{60000} = 1,71 \text{ m/s}.$$

Perdavos tikslumo laipsnis – 9: $R_{amax} = 6,3 \mu\text{m}$; ir $K_1 = 58,43$.

Jėginiai parametrai. Apskritiminė jėga

$$F_t = F_{t4} = F_{t5} = \frac{2000 T_4}{d_{m4}} = \frac{2000 \cdot 27,8}{44,97} = 1240 \text{ N}.$$

Normalinis krumplio kabinimosi kampas

$$a_n = \arctg(\operatorname{tg} a_t \cdot \cos b) = \arctg(\operatorname{tg} 20^\circ \cdot \cos 30^\circ) = 17,49524^\circ.$$

Radialinės jėgos:

$$F_{r4} = F_t \frac{\operatorname{tg} a_n \cos \delta_4 - \sin \beta \sin \delta_4}{\cos \beta} = 1240 \frac{\operatorname{tg} 17,49524^\circ \cdot \cos 17,52557^\circ - \sin 30^\circ \cdot \sin 17,52557^\circ}{\cos 30^\circ} = 214 \text{ N};$$

$$F_{r5} = F_t \frac{\operatorname{tg} a_n \cos \delta_5 + \sin \beta \sin \delta_5}{\cos \beta} = 1240 \frac{\operatorname{tg} 17,49524^\circ \cdot \cos 72,47443^\circ + \sin 30^\circ \cdot \sin 72,47443^\circ}{\cos 30^\circ} = 817 \text{ N}.$$

Ašinės jėgos:

$$F_{a4} = F_{r5} = 817 \text{ N} \quad \text{ir} \quad F_{a5} = F_{r4} = 214 \text{ N}.$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
Keit.	Dokum. Nr.	Data			4

Leistinių kontaktinių įtempių patikslinimas. Vidutinė kontaktinio patvarumo riba:

$$S_{H \text{ lim } m} = 0,5 (S_{H \text{ lim } 4} + S_{H \text{ lim } 5}) = 0,5 (1290 + 1140) = 1215 \text{ MPa.}$$

Rekomenduojamas tepalo kinematinis klampis:

$$u_{40} \approx \frac{0,45 \sigma_{H \text{ lim } m}}{0,8 + v^{0,6}} = \frac{0,45 \cdot 1215}{0,8 + 1,71^{0,6}} = 251 \text{ mm}^2/\text{s.}$$

Koeficientas, kuriuo įvertinama tepimo įtaka:

$$C_{ZL} = 0,91;$$

$$Z_L = C_{ZL} + \frac{4(1,0 - C_{ZL})}{(1,2 + 80/u_{40})^2} = 0,91 + \frac{4(1 - 0,91)}{(1,2 + 80/251)^2} = 1,07.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinamas apskritimasis greitis:

$$C_{Zv} = C_{ZL} + 0,02 = 0,91 + 0,02 = 0,93;$$

$$Z_v = C_{Zv} + \frac{2(1,0 - C_{Zv})}{\sqrt{0,8 + 32/v}} = 0,93 + \frac{2(1,0 - 0,93)}{\sqrt{0,8 + 32/1,71}} = 0,962.$$

Ekvivalentinių cilindrinų krumpliaračių dalijamieji skersmenys:

$$d_{v4} = \frac{d_{m4}}{\cos \delta_4} = \frac{44,97}{\cos 17,52557^\circ} = 47,15 \text{ mm};$$

$$d_{v5} = \frac{d_{m5}}{\cos \delta_5} = \frac{142,4}{\cos 72,47443^\circ} = 472,9 \text{ mm.}$$

Koeficientas, kuriuo įvertinamas krumplių paviršiaus šiurkštumas:

$$C_{ZR} = 0,08; \text{ (laikome, kad krumplių paviršiaus šiurkštumas bus } Ra = 2,5 \text{ } \mu\text{m);}$$

$$Z_R = \left(\frac{1}{2 Ra} \sqrt[3]{\frac{d_{v4} + d_{v5}}{200}} \right)^{C_{ZR}} = \left(\frac{1}{2 \cdot 2,5} \sqrt[3]{\frac{47,15 + 472,9}{200}} \right)^{0,08} = 0,902.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinami krumplių matmenys:

$$m_{nm} = m_{tm} \cos b = 2,498 \cdot \cos 30^\circ = 2,163 \text{ mm};$$

$$Z_X = \max(0,9; \min(1,0; 1,05 - 0,005 m_{nm})) = \max(0,9; \min(1,0; 1,05 - 0,005 \cdot 2,163)) = \max(0,9; \min(1,0; 1,04)) = 1,00.$$

Patikslinti leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$\sigma_{H \text{ adm } 4} = \frac{\sigma_{H \text{ lim } 4} Z_{N4}}{S_{H \text{ adm}}} Z_L Z_v Z_R Z_X = \frac{1290 \cdot 0,933}{1,2} \cdot 1,07 \cdot 0,962 \cdot 0,902 \cdot 1,00 = 931 \text{ MPa, imame } S_{H \text{ adm } 4} = 930 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{H \text{ adm } 5} = \frac{\sigma_{H \text{ lim } 5} Z_{N5}}{S_{H \text{ adm}}} Z_L Z_v Z_R Z_X = \frac{1140 \cdot 0,987}{1,2} \cdot 1,07 \cdot 0,962 \cdot 0,902 \cdot 1,00 = 871 \text{ MPa, imame } S_{H \text{ adm } 5} = 870 \text{ MPa.}$$

Kontaktinio patvarumo skaičiavimas. Krumpliaračių medžiagų mechaninių charakteristikų koeficientas

$$Z_E = 190 \sqrt{\text{MPa}}.$$

Krumpliaračių krumplių formos koeficientas:

$$b_b = \arcsin(\sin b \cdot \cos a) = \arcsin(\sin 30^\circ \cdot \cos 20^\circ) = 28,02432^\circ;$$

$$a_{wt} = a_t = 20^\circ, \text{ nes } x_4 = -x_5;$$

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha_t} \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\text{tg } \alpha_{wt}}} = \frac{1}{\cos 20^\circ} \sqrt{\frac{2 \cos 28,02432^\circ}{\text{tg } 20^\circ}} = 2,34.$$

Ekvivalentinių cilindrinų krumpliaračių krumplių skaičiai normaliniame pjūvyje:

$$Z_{vn4} = \frac{Z_4}{\cos \delta_4} = \frac{18}{\cos 17,52557^\circ} = 18,9;$$

$$Z_{vn5} = \frac{Z_5}{\cos \delta_5} = \frac{57}{\cos 72,47443^\circ} = 189,3.$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
					5
Keit.	Dokum. Nr.	Data			

Ekvivalentinių cilindrinų krumpliaračių išoriniai skersmenys:

$$h_{f_{m4}} = m_{t,m} (h_{f5}^* - x_4) = 2,498 (0,688 - 0,34) = 0,869 \text{ mm};$$

$$h_{f_{m5}} = m_{t,m} (h_{f4}^* - x_5) = 2,498 (1,390 - (-0,34)) = 4,322 \text{ mm};$$

$$h_{a_{m4}} = h_{ae4} - \frac{b h_{f_{m5}}}{2 R_m} = 4,623 - \frac{30 \cdot 4,322}{2 \cdot 74,66} = 3,755 \text{ mm};$$

$$h_{a_{m5}} = h_{ae5} - \frac{b h_{f_{m4}}}{2 R_m} = 0,477 - \frac{30 \cdot 0,869}{2 \cdot 74,66} = 0,302 \text{ mm};$$

$$d_{va4} = d_{v4} + 2 h_{a_{m4}} = 47,15 + 2 \cdot 3,755 = 54,67 \text{ mm};$$

$$d_{va5} = d_{v5} + 2 h_{a_{m5}} = 472,9 + 2 \cdot 0,302 = 473,5 \text{ mm}.$$

Ekvivalentinių cilindrinų krumpliaračių profilio kampai krumplio viršūnėje:

$$\alpha_{va4} = \arccos \left(\frac{d_{v4} \cos \alpha_{wt}}{d_{va4}} \right) = \arccos \left(\frac{47,15 \cos 20^\circ}{54,67} \right) = 35,84619^\circ;$$

$$\alpha_{va5} = \arccos \left(\frac{d_{v5} \cos \alpha_{wt}}{d_{va5}} \right) = \arccos \left(\frac{472,9 \cos 20^\circ}{473,5} \right) = 20,19998^\circ.$$

Skersinis krumplių persidengimo laipsnis

$$\varepsilon_\alpha = \frac{z_{vn4} (\operatorname{tg} \alpha_{va4} - \operatorname{tg} \alpha_{wt}) + z_{vn5} (\operatorname{tg} \alpha_{va5} - \operatorname{tg} \alpha_{wt})}{2 \pi} = \frac{18,9 (\operatorname{tg} 35,84619^\circ - \operatorname{tg} 20^\circ) + 189,3 (\operatorname{tg} 20,19998^\circ - \operatorname{tg} 20^\circ)}{2 \pi} = 1,20.$$

Ašinis krumplių persidengimo koeficientas

$$\varepsilon_\beta = \frac{0,85 b \sin \beta}{\pi m_{n,m}} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot \sin 30^\circ}{\pi \cdot 2,163} = 1,88.$$

Suminis kontaktinės linijos ilgio koeficientas

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1,20}} = 0,914.$$

Krumplių įstrižumo kampo koeficientas

$$Z_\beta = \sqrt{\cos \beta} = \sqrt{\cos 30^\circ} = 0,931.$$

Linijinė apkrova

$$w_t = \max \left(100; \frac{K_A F_t}{0,85 b} \right) = \max \left(100; \frac{1,75 \cdot 1240}{0,85 \cdot 30} \right) = \max(100; 85,0) = 100 \text{ N/mm}.$$

Dinaminės apkrovos koeficientas

$$K_V = 1 + \left(\frac{K_1}{w_t} + 0,01 \right) \frac{z_4 v}{100} \sqrt{\frac{u_{45T}^2}{1 + u_{45T}^2}} = 1 + \left(\frac{58,43}{100} + 0,01 \right) \frac{18 \cdot 1,71}{100} \cdot \sqrt{\frac{3,17^2}{1 + 3,17^2}} = 1,17.$$

Vidutinis kietumas HB vienetais

$$H_{HB,m} = 0,5 (H_{HB4} + H_{HB5}) = 0,5 (579 + 565) = 572 \text{ HB}.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinamas apkrovos pasiskirstymo netolygumas tarp krumplių

$$K_{H\alpha} = \max \left(1,4; \frac{\varepsilon_\alpha}{\cos^2 \beta_b} \right) = \max \left(1,4; \frac{1,196}{\cos^2 28,02432^\circ} \right) = \max(1,4; 1,54) = 1,54.$$

Patiksliname apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficientą:

$$\psi_{bR} = \frac{b}{R_e} = \frac{30}{89,66} = 0,335;$$

$$K_{H\beta} = \min \left(2,25; 1,5 + C_{H\beta} \left(\frac{\psi_{bR} u_{45T}}{2 - \psi_{bR}} \right)^{1,25} \right) = \min \left(2,25; 1,5 + 0 \left(\frac{0,335 \cdot 3,17}{2 - 0,335} \right)^{1,25} \right) = \min(2,25; 1,50) = 1,50.$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
Keit.	Dokum. Nr.	Data			6

Kontaktiniai įtempiai

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_K Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta} F_t (u_{45T} + 1)}{0,85 b d_{v4} u_{45T}}} =$$

$$= 190 \cdot 2,34 \cdot 0,85 \cdot 0,914 \cdot 0,931 \sqrt{\frac{1,75 \cdot 1,17 \cdot 1,54 \cdot 1,50 \cdot 1240 (3,17 + 1)}{0,85 \cdot 30 \cdot 47,15 \cdot 3,17}} = 817 \text{ MPa} \leq 870 \text{ MPa}.$$

Leistinių lenkimo įtempių patikslinimas. Koeficientas, kuriuo įvertinamas medžiagos jautrumas įtempių koncentracijai:

$$Y_{\delta 4} = 1 + \frac{15}{1,3 \sigma_{y14}} \left(0,5\pi + 2 x_4 \operatorname{tg} \alpha + x_{r4} - \frac{5 c^*}{1 - \sin \alpha_n} \right) = 1 + \frac{15}{1,3 \cdot 1350} \cdot \left(0,5\pi + 2 \cdot 0,34 \operatorname{tg} 20^\circ + 0,05 - \frac{5 \cdot 0,1888}{1 - \sin 17,49524^\circ} \right) = 1,00;$$

$$Y_{\delta 5} = 1 + \frac{15}{1,3 \sigma_{y15}} \left(0,5\pi + 2 x_5 \operatorname{tg} \alpha + x_{r5} - \frac{5 c^*}{1 - \sin \alpha_n} \right) = 1 + \frac{15}{1,3 \cdot 540} \left(0,5\pi + 2 \cdot (-0,34) \operatorname{tg} 20^\circ + (-0,05) - \frac{5 \cdot 0,1888}{1 - \sin 17,49524^\circ} \right) = 0,998.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumpliaračio dydžio įtaka krumplių stiprumui lenkiant

$$Y_X = 1,03 - 0,006 m_{nm} = 1,03 - 0,006 \cdot 2,163 = 1,02;$$

$$Y_X = \max(0,85; \min(1,00; Y_X)) = \max(0,85; \min(1,00; 1,02)) = 1,00.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumplių pašaknų paviršiaus kokybė:

$$Y_R = 5,203 - 4,203 (1 + 12 Ra)^{0,01} = 5,203 - 4,203 (1 + 12 \cdot 2,5)^{0,01} = 0,956;$$

$$Y_R = \max(0,90; \min(1,00; Y_R)) = \max(0,90; \min(1,00; 0,956)) = 0,956.$$

Patikslinti leistinieji lenkimo įtempiai:

$$\sigma_{F adm 4} = \frac{\sigma_{F lim 4} Y_{N4} Y_A}{S_{F adm}} Y_{\delta 4} Y_X Y_R = \frac{740 \cdot 1,00 \cdot 1,00}{1,8} \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,956 = 395 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F adm 5} = \frac{\sigma_{F lim 5} Y_{N5} Y_A}{S_{F adm}} Y_{\delta 5} Y_X Y_R = \frac{450 \cdot 1,00 \cdot 1,00}{1,8} \cdot 0,998 \cdot 1,00 \cdot 0,956 = 239 \text{ MPa, imame } S_{F adm 5} = 240 \text{ MPa}.$$

Patvarumo lenkimui skaičiavimas. Ekivalentiniai krumplių skaičiai:

$$Z_{v4} = \frac{Z_4}{\cos \delta_4 \cos \beta \cos^2 \beta_b} = \frac{18}{\cos 17,52557^\circ \cos 30^\circ \cos^2 28,02432^\circ} = 28,0;$$

$$Z_{v5} = \frac{Z_5}{\cos \delta_5 \cos \beta \cos^2 \beta_b} = \frac{57}{\cos 72,47443^\circ \cos 30^\circ \cos^2 28,02432^\circ} = 280,5.$$

Koeficientai, kuriais įvertinama krumplių forma ir įtempių koncentracija:

$$Y_{Fs4} = 3,47 + \frac{13,2}{Z_{v4}} - 29,7 \frac{x_4}{Z_{v4}} + 0,092 x_4^2 = 3,47 + \frac{13,2}{28,0} - 29,7 \frac{0,34}{28,0} + 0,092 \cdot 0,34^2 = 3,59;$$

$$Y_{Fs5} = 3,47 + \frac{13,2}{Z_{v5}} - 29,7 \frac{x_5}{Z_{v5}} + 0,092 x_5^2 = 3,47 + \frac{13,2}{280,5} - 29,7 \frac{(-0,34)}{280,5} + 0,092 \cdot (-0,34)^2 = 3,56.$$

Krumplių įstrižumo kampo koeficientas

$$Y_\beta = 1 - \min(1; \varepsilon_\beta) \cdot \frac{\min(30^\circ; \beta^\circ)}{120^\circ} = 1 - \min(1; 1,88) \cdot \frac{\min(30^\circ; 30^\circ)}{120^\circ} = 1 - 1 \cdot \frac{30^\circ}{120^\circ} = 0,750.$$

Persidengimo koeficientas

$$Y_\varepsilon = 0,25 + 0,75 \max\left(0,5; \frac{\cos^2 \beta_b}{\varepsilon_\alpha}\right) = 0,25 + 0,75 \max\left(0,5; \frac{\cos^2 28,02432^\circ}{1,20}\right) = 0,25 + 0,75 \max(0,5; 0,575) = 0,681.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinamas apkrovos pasiskirstymo netolygumas tarp krumplių

$$K_{F\alpha} = \max\left(1,4; \frac{\varepsilon_\alpha}{\cos^2 \beta_b}\right) = \max\left(1,4; \frac{1,196}{\cos^2 28,02432^\circ}\right) = \max(1,4; 1,54) = 1,54.$$

Apkrovos pasiskirstymo netolygumo išilgai kontaktinės linijos koeficientas

$$K_{Fb} = K_{Hb} = 1,50.$$

Skaičiuojamieji didžiojo krumpliaračio lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F5} = Y_{Fs5} Y_\beta Y_\varepsilon \frac{K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} F_t}{0,85 b m_{nm}} = 3,56 \cdot 0,750 \cdot 0,681 \cdot \frac{1,75 \cdot 1,17 \cdot 1,54 \cdot 1,50 \cdot 1240}{0,85 \cdot 30 \cdot 2,163} = 193 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}.$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
Keit.	Dokum. Nr.	Data			7

Skaičiuojamieji mažojo krumpliaračio lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F4} = \sigma_{F5} \frac{Y_{Fs4}}{Y_{Fs5}} = 193 \cdot \frac{3,59}{3,56} = 195 \text{ MPa} \leq 395 \text{ MPa.}$$

Kontaktinio ir lenkimo stiprumo skaičiavimas. Didžiausi leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$H_{\text{HRC}m4} = 115 - \frac{1470}{\sqrt{H_{\text{HV}m4}}} = 115 - \frac{1470}{\sqrt{615}} = 56 \text{ HRC};$$

$$H_{\text{HRC}m5} = 115 - \frac{1470}{\sqrt{H_{\text{HV}m5}}} = 115 - \frac{1470}{\sqrt{600}} = 55 \text{ HRC};$$

$$s_{H \text{ adm max}4} = 44 H_{\text{HRC}m4} = 44 \cdot 56 = 2464 \text{ MPa, imame } s_{H \text{ adm max}4} = 2460 \text{ MPa};$$

$$s_{H \text{ adm max}5} = 44 H_{\text{HRC}m5} = 44 \cdot 55 = 2420 \text{ MPa};$$

$$s_{H \text{ adm max}} = \min(s_{H \text{ adm max}4}; s_{H \text{ adm max}5}) = \min(2460; 2420) = 2420 \text{ MPa.}$$

Didžiausi leistinieji lenkimo įtempiai:

$$\sigma_{F \text{ adm max}4} = 0,6 \sigma_{ut4} = 0,6 \cdot 1570 = 942 \text{ MPa, imame } s_{F \text{ adm max}4} = 940 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F \text{ adm max}5} = 0,6 \sigma_{ut5} = 0,6 \cdot 790 = 474 \text{ MPa, imame } s_{F \text{ adm max}5} = 475 \text{ MPa.}$$

Didžiausi kontaktiniai įtempiai

$$\sigma_{H \text{ max}} = \sigma_H \sqrt{K_{per}} = 817 \sqrt{2,1} = 1184 \text{ MPa} \leq 2420 \text{ MPa.}$$

Didžiausi lenkimo įtempiai:

$$\sigma_{F \text{ max}4} = \sigma_{F4} K_{per} = 195 \cdot 2,1 = 409 \text{ MPa} \leq 940 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F \text{ max}5} = \sigma_{F5} K_{per} = 193 \cdot 2,1 = 406 \text{ MPa} \leq 475 \text{ MPa.}$$

			KTU PI	ME2.KKP-01.00.AR	Lapas
					8
Keit.	Dokum. Nr.	Data			