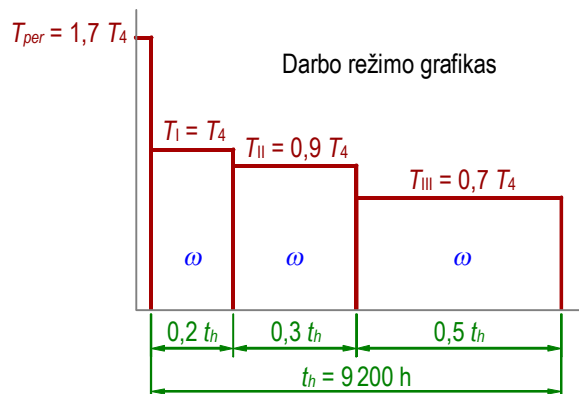


Sliekinės perdavos projektavimas

Pradiniai duomenys:

sliekas cilindrinis, archimedinis;
 sliekračio parametrai: $T_4 = 205 \text{ Nm}$ ir $n_4 = 95,0 \text{ min}^{-1}$;
 $u_{34} = 12,0$;



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

Medžiagų parinkimas. Slieką numatome gaminti iš plieno 37Cr4, kuris bus termiškai gerinamas, o slieko vijos grūdinamos ADS. Slieko medžiagos mechaninės charakteristikos:

$$E_6 = 2,06 \cdot 10^5 \text{ MPa}; \quad \nu_6 = 0,3.$$

Apytikslis slydimo greitis

$$v_s \approx \frac{0,45 n_4 u_{34}}{1000} \sqrt[3]{T_4} = \frac{0,45 \cdot 95,0 \cdot 12,0}{1000} \sqrt[3]{205} = 3,03 \text{ m/s}.$$

Sliekračio darbinę dalį numatome gaminti iš žalvario CuZn35AlFe3 (liejimas žemėje). Šios medžiagos charakteristikos:

$$\sigma_{H \text{ lim } 4} = 410 \text{ MPa}; \quad \sigma_{F \text{ lim } 4} = 200 \text{ MPa}; \quad \sigma_{yt 4} = 400 \text{ MPa}; \quad v_{s \text{ max}} = 4,0 \text{ m/s};$$

$$E_4 = 1,03 \cdot 10^5 \text{ MPa}; \quad \nu_4 = 0,35.$$

Leistinieji kontaktiniai įtempiai. Darbo režimo koeficientas

$$X_H = \frac{n_4 0,2 t_h T_4^4 + n_4 0,3 t_h (0,9 T_4)^4 + n_4 0,5 t_h (0,7 T_4)^4}{T_4^4 (n_4 0,2 t_h + n_4 0,3 t_h + n_4 0,5 t_h)} = 0,2 + 0,3 \cdot 0,9^4 + 0,5 \cdot 0,7^4 = 0,517.$$

Kontaktinių įtempių ilgaamžiškumo koeficientas

$$Z_h = \min \left(1,6; \sqrt[6]{\frac{25\,000}{X_H t_h}} \right) = \min \left(1,6; \sqrt[6]{\frac{25\,000}{0,517 \cdot 9\,200}} \right) = \min(1,6; 1,32) = 1,32.$$

Medžiagos susidėvėjimo koeficientas

$$Z_v = \sqrt{\frac{5}{4 + v_s}} = \sqrt{\frac{5}{4 + 3,03}} = 0,844.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinamas perdavos perdavimo skaičius

$$Z_u = \sqrt[6]{\frac{u_{34}}{20,5}} = \sqrt[6]{\frac{12,0}{20,5}} = 0,915.$$

Leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$Z_o = 0,94; \quad (\text{perdavą numatome tepti sintetine PAO grupės alyva})$$

$$\sigma_{H \text{ adm } 4} = \frac{\sigma_{H \text{ lim } 4}}{S_{H \text{ adm}}} Z_h Z_v Z_u Z_o = \frac{410}{1,1} \cdot 1,32 \cdot 0,844 \cdot 0,915 \cdot 0,94 = 356 \text{ MPa}, \quad \text{imame } \sigma_{H \text{ adm } 4} = 355 \text{ MPa}.$$

Leistinieji lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F \text{ adm } 4} = \frac{\sigma_{F \text{ lim } 4}}{S_{H \text{ adm}}} Y_N = \frac{200}{1,5} \cdot 1,0 = 133 \text{ MPa}, \quad \text{imame } \sigma_{F \text{ adm } 4} = 135 \text{ MPa}.$$

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

Slieko pradžių skaičius

$$z_3 = 4.$$

Sliekračio krumplių skaičius. Minimalus sliekračio krumplių skaičius

$$z_{4 \min} = \frac{2,48}{\sin^2 \alpha_x} = \frac{2,48}{\sin^2 20^\circ} = 21,2.$$

Slieko krumplių skaičius

$$z_4 = z_3 u_{34} = 4 \cdot 12,0 = 48;$$

$$z_4 \geq z_{4 \min} \rightarrow 48 > 21,2.$$

Tikrasis perdavos perdavimo skaičius

$$u_{34T} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{48}{4} = 12,0.$$

Nukrypimas nuo pradinės perdavimo skaičiaus vertės:

$$\Delta u = \left| \frac{u_{34T} - u_{34}}{u_{34}} \right| 100\% = \left| \frac{12,0 - 12,0}{12,0} \right| 100\% = 0\%;$$

$$\Delta u \leq 3\% \rightarrow 0\% \leq 3\%.$$

Tarpašinis atstumas:

$$E_{red} = \frac{2 E_3 E_4}{E_3 (1 - u_4^2) + E_4 (1 - u_3^2)} = \frac{2 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1,03 \cdot 10^5}{2,06 \cdot 10^5 (1 - 0,35^2) + 1,03 \cdot 10^5 (1 - 0,3^2)} = 1,55 \cdot 10^5 \text{ MPa};$$

$$K_A = 1,75;$$

$$a_w \geq 11 \cdot 3 \sqrt{\frac{E_{red} K_A T_7}{\sigma_{H adm}^2}} = 11 \cdot 3 \sqrt{\frac{1,55 \cdot 10^5 \cdot 1,75 \cdot 205}{355^2}} = 85,1 \text{ mm, imame } a_w = 90 \text{ mm}.$$

Modulis

$$m_x \geq \frac{1,5 a_w}{z_4} = \frac{1,5 \cdot 90}{48} = 2,81 \text{ mm, imame } m_x = 3,0 \text{ mm}.$$

Slieko dalijamojo skersmens koeficientas

$$q = \frac{2 a_w}{m_x} - z_7 = \frac{2 \cdot 90}{3,0} - 48 = 12,0.$$

Perstūmos koeficientas

$$x = \frac{a_w}{m_x} - \frac{1}{2} (z_4 + q) = \frac{90}{3,0} - \frac{1}{2} (48 + 12) = 0,0.$$

Slieko apskritiminis greitis

$$n_3 = n_4 u_{34T} = 95,0 \cdot 12,0 = 1140 \text{ min}^{-1};$$

$$v_3 = \frac{\pi n_3 m_x (q + 2x)}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot 1140 \cdot 3,0 \cdot (12 + 2 \cdot 0)}{60 \cdot 10^3} = 2,15 \text{ m/s}.$$

Perdavos tikslumo laipsnis – 9. Ribinis darbinių paviršių šiurkštumas $Ra_{max} = 6,3 \mu\text{m}$.

Slydimo greitis. Slieko vijų kilimo kampas ant pradinio cilindro

$$\gamma_w = \arctg \frac{z_3}{q + 2x} = \arctg \frac{4}{12 + 2 \cdot 0} = 18,43495^\circ.$$

Tikrasis slydimo greitis perdavoje

$$v_s = \frac{v_3}{\cos \gamma_w} = \frac{2,15}{\cos 18,43495^\circ} = 2,27 \text{ m/s};$$

$$v_s < v_{s \max} \rightarrow 2,27 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}.$$

Pagrindiniai geometriniai parametrai. Dalijamieji skersmenys

$$d_3 = q m_x = 12 \cdot 3,0 = 36,0 \text{ mm};$$

$$d_4 = m_x z_4 = 3,0 \cdot 48 = 144,0 \text{ mm}.$$

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

Pradiniai skersmenys:

$$d_{w3} = d_3 + 2 m_x x = 36,0 + 2 \cdot 3,0 \cdot 0,0 = 36,0 \text{ mm};$$
$$d_{w4} = d_4 = 144,0 \text{ mm}.$$

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

$$h_a^* = 1,0; \quad c^* = 0,25; \quad h_f^* = h_a^* + c^* = 1,0 + 0,25 = 1,25.$$

Viršūnių skersmenys:

$$d_{a3} = d_3 + 2 m_x h_a^* = 36,0 + 2 \cdot 3,0 \cdot 1,0 = 42,0 \text{ mm};$$
$$d_{a4} = d_4 + 2 m_x (h_a^* + x) = 144,0 + 2 \cdot 3,0 \cdot (1,0 + 0,0) = 150,0 \text{ mm}.$$

Pašaknų skersmenys:

$$d_{f3} = d_3 - 2 m_x h_f^* = 36,0 - 2 \cdot 3,0 \cdot 1,25 = 28,5 \text{ mm};$$
$$d_{f4} = d_4 - 2 m_x (h_f^* - x) = 144,0 - 2 \cdot 3,0 \cdot (1,25 - 0,0) = 136,5 \text{ mm}.$$

Slieko vijų kilimo kampas ant dalijamojo apskritimo

$$\gamma = \arctg \frac{z_3}{q} = \arctg \frac{4}{12} = 18,43495^\circ.$$

Slieko vijos žingsnis

$$p_3 = z_3 \pi m_x = 4 \cdot \pi \cdot 3,0 = 37,70 \text{ mm}.$$

Didžiausias sliekračio skersmuo

$$d_{e4} = d_{a4} + \frac{6 m_x}{z_3 + 2} = 150,0 + \frac{6 \cdot 3,0}{4 + 2} = 153,0 \text{ mm}, \text{ imame } d_{e4} = 152 \text{ mm}.$$

Slieko įpjautos dalies ilgis

$$b_3 = (12,5 + 0,09 z_4) m_x = (12,5 + 0,09 \cdot 48) \cdot 3,0 = 50,5 \text{ mm}, \text{ imame } b_3 = 50 \text{ mm}.$$

Sliekračio vainiko plotis

$$b_4 = 0,67 d_3 \left(1 + \frac{2}{q}\right) = 0,67 \cdot 36,0 \left(1 + \frac{2}{12}\right) = 28,1 \text{ mm}, \text{ imame } b_4 = 28 \text{ mm}.$$

Sliekračio krumplių įgaubimo spinduliai:

$$R_a = 0,5 d_3 - m_x h_a^* = 0,5 \cdot 36,0 - 3,0 \cdot 1,0 = 15,0 \text{ mm};$$
$$R_f = 0,5 d_3 + m_x h_f^* = 0,5 \cdot 36,0 + 3,0 \cdot 1,25 = 21,75 \text{ mm}.$$

Tarpašinis atstumas

$$a_w = 0,5 m_x (q + z_4 + 2 x) = 0,5 \cdot 3,0 (12 + 48 + 2 \cdot 0,0) = 90,0 \text{ mm}.$$

Perdavos naudingumo koeficiento nustatymas. Koeficientas, kuriuo įvertinami perdavos matmenys:

$$a'_w = \min(250; \max(65; a_w)) = \min(250; \max(65; 90,0)) = 90,0 \text{ mm};$$

$$Y_s = \frac{10}{\sqrt{a'_w}} = \frac{10}{\sqrt{90,0}} = 1,05.$$

Galimas tepalo tarpelio storis krumplių susikabinimo vietoje:

$$B = \sqrt{m_x (6 d_{w3} - 9 m_x + 1)} = \sqrt{3,0 (6 \cdot 36,0 - 9 \cdot 3,0 + 1)} = 23,9;$$

$$h_x = \frac{2,9 \alpha_x^{0,06}}{10^{14} z_4^{0,085}} (80 x + 5 930) [(1 - 0,038 q) q + 66] [(109 z_3 - q) z_3 q^{-2} - 3 290] [(0,003 B + 1) B - 13 060] - 0,393 =$$
$$= \frac{2,9 \cdot 20^{0,06}}{10^{14} \cdot 48^{0,085}} (80 \cdot 0,0 + 5 930) [(1 - 0,038 \cdot 12) \cdot 12 + 66] [(109 \cdot 4 - 12) \cdot 4 \cdot 12^{-2} - 3 290] \times$$
$$\times [(0,003 \cdot 23,9 + 1) \cdot 23,9 - 13 060] - 0,393 = 0,066.$$

Susikabinimo geometrijos koeficientas

$$Y_G = \sqrt{\frac{0,07}{h_x}} = \sqrt{\frac{0,07}{0,066}} = 1,03.$$

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

Medžiagų koeficientas

$$Y_W = 1,00.$$

Paviršių šiurkštumo koeficientas

$$R_a = 2,5 \mu\text{m};$$

$$Y_R = \sqrt[4]{2 R_a} = \sqrt[4]{2 \cdot 2,5} = 1,50.$$

Teorinis trinties koeficientas (numatoma tepti PAO sintetinės alyvos vonioje, t. y. reduktoriaus korpuse):

$$C_{f1} = 0,027; C_{f2} = 0,056; C_{f3} = 0,15; C_{f4} = 1,63; f_{0 \max} = 0,096;$$

$$f_0 = C_{f1} + \frac{C_{f2}}{(v_s + C_{f3})^{C_{f4}}} = 0,027 + \frac{0,056}{(2,27 + 0,15)^{1,63}} = 0,040;$$

$$f_0 \leq f_{0 \max} \rightarrow 0,040 \leq 0,096.$$

Vidutinis trinties koeficientas

$$f = f_0 Y_S Y_G Y_W Y_R = 0,040 \cdot 1,05 \cdot 1,03 \cdot 1,00 \cdot 1,50 = 0,065.$$

Redukuotas trinties kampas

$$\rho' = \arctg(f) = \arctg(0,065) = 3,71416^\circ.$$

Tikrasis sliekinės perdavos naudingumo koeficientas

$$\eta_{34T} = \frac{\text{tg } \gamma_w}{\text{tg}(\gamma_w + \rho')} = \frac{\text{tg } 18,43495^\circ}{\text{tg}(18,43495^\circ + 3,71416^\circ)} = 0,819.$$

Slieko veleno sukimo momentas

$$T_3 = \frac{T_4}{u_{34T} \eta_{34T} \eta_g} = \frac{205}{12,0 \cdot 0,819 \cdot 0,996} = 21,0 \text{ Nm}.$$

Slieko ir sliekračio susikabinimo vietoje veikiančios jėgos. Sliekračio apskritiminė jėga F_{t4} ir slieko ašinė jėga F_{a3} :

$$F_{t4} = F_{a3} = \frac{2000 T_4}{d_{w4}} = \frac{2000 \cdot 205}{144,0} = 2850 \text{ N}.$$

Slieko apskritiminė jėga F_{t3} ir sliekračio ašinė jėga F_{a4} :

$$F_{t3} = F_{a4} = \frac{2000 T_3}{d_{w3}} = \frac{2000 \cdot 21,0}{36,0} = 1160 \text{ N}.$$

Slieko ir sliekračio radialinės jėgos

$$\alpha_n = \arctg(\text{tg } \alpha_x \cdot \cos \gamma_w) = \arctg(\text{tg } 20^\circ \cdot \cos 18,43495^\circ) = 19,04941^\circ.$$

$$F_{r3} = F_{r4} = \frac{F_{t4} \text{tg } \alpha_n}{\sin(\gamma_w + \rho')} = \frac{2850 \cdot \text{tg } 19,04941^\circ}{\sin(18,43495^\circ + 3,71416^\circ)} = 2610 \text{ N}.$$

Leistinių kontaktinių įtempių patikslinimas. Patiksliname medžiagos išsidėvėjimo koeficientą:

$$Z_v = \sqrt{\frac{5}{4 + v_s}} = \sqrt{\frac{5}{4 + 2,27}} = 0,893.$$

Patiksliname perdavos perdavimo skaičiaus koeficientą

$$Z_u = \sqrt[6]{\frac{u_{34T}}{20,5}} = \sqrt[6]{\frac{12,0}{20,5}} = 0,915.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinami perdavos matmenys

$$Z_x = \sqrt{\frac{3000}{2900 + a_w}} = \sqrt{\frac{3000}{2900 + 90,0}} = 1,00.$$

Leistinieji kontaktiniai įtempiai

$$\sigma_{H \text{ adm } 4} = \frac{\sigma_{H \text{ lim } 4}}{S_{H \text{ adm}}} Z_h Z_v Z_u Z_o Z_x = \frac{410}{1,1} \cdot 1,32 \cdot 0,893 \cdot 0,915 \cdot 0,94 \cdot 1,00 = 378 \text{ MPa, imame } \sigma_{H \text{ adm } 4} = 380 \text{ MPa}.$$

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

Kontaktinio patvarumo skaičiavimas. Koeficientas, kuriuo įvertinama perdavos geometrija

$$p_m^* = 0,18 + \frac{0,24 a_w}{d_3} + 0,07 x |x|^3 + 0,054 q - 0,004 z_4 - 0,011 \alpha_x + \frac{45 (x + 0,005)}{z_4} \left(\frac{z_3}{q} \right)^{2,7} =$$

$$= 0,18 + \frac{0,24 \cdot 90,0}{36,0} + 0,07 \cdot 0 \cdot |0|^3 + 0,054 \cdot 12 - 0,004 \cdot 48 - 0,011 \cdot 20^\circ + \frac{45 (0 + 0,005)}{48} \left(\frac{4}{12} \right)^{2,7} = 1,016.$$

Skaičiuojamieji vidutiniai kontaktiniai įtempiai sliekartyje

$$\sigma_{H4} = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{1000 p_m^* E_{red} K_A T_4}{a_w^3}} = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{1000 \cdot 1,016 \cdot 1,55 \cdot 10^5 \cdot 1,75 \cdot 205}{90,0^3}} = 354 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{H4} \leq \sigma_{H adm 4} \rightarrow 354 \text{ MPa} \leq 380 \text{ MPa}.$$

Patvarumo lenkimui skaičiavimas. Perdengimo koeficientas

$$Y_\varepsilon \approx 0,5.$$

Krumplių formos koeficientas:

$$\delta_{W n lim} = 0,25 m_x \cos \gamma_w = 0,25 \cdot 3,0 \cdot \cos 18,43495^\circ = 0,712 \text{ mm};$$

$$Y_F = \frac{2,9 m_x}{1,06 \left[\frac{\pi m_x}{2} + \frac{(d_{w7} - d_{f7}) \operatorname{tg} \alpha_x - \delta_{W n lim}}{\cos \gamma_w} \right]} = \frac{2,9 \cdot 3,0}{1,06 \left[\frac{\pi \cdot 3,0}{2} + \frac{(144,0 - 136,5) \operatorname{tg} 20^\circ - 0,712}{\cos 18,43495^\circ} \right]} = 1,20.$$

Sliekračio vainiko storis

$$s_{41} = (1,5 \dots 2,0) m_x = (1,5 \dots 2,0) \cdot 3,0 = 4,5 \dots 6,0 \text{ mm, imame } s_{41} = 5 \text{ mm}.$$

Sliekračio vainiko storio koeficientas

$$Y_K = 1,043 \ln \left(\frac{5,281 m_x}{s_{41}} \right) = 1,043 \ln \left(\frac{5,281 \cdot 3,0}{5,0} \right) = 1,20.$$

Skaičiuojamieji lenkimo įtempiai sliekračio krumplyje

$$\sigma_{F4} = \frac{2000 K_A T_4}{b_4 d_{w4} m_x \cos \gamma_w} Y_\varepsilon Y_F Y_K = \frac{2000 \cdot 1,75 \cdot 205}{28,0 \cdot 144,0 \cdot 3,0 \cdot \cos 18,43495^\circ} \cdot 0,5 \cdot 1,20 \cdot 1,20 = 45,1 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F4} \leq \sigma_{F adm 4} \rightarrow 45,1 \text{ MPa} \leq 135 \text{ MPa}.$$

Kontaktinio ir lenkimo stiprumo skaičiavimas. Didžiausi sliekračio darbinės dalies medžiagos leistinieji kontaktiniai ir lenkimo įtempiai:

$$\sigma_{H adm max 4} = 2,0 \sigma_{yt 4} = 2,0 \cdot 400 = 800 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F adm max 4} = 0,85 \sigma_{yt 4} = 0,85 \cdot 400 = 340 \text{ MPa}.$$

Didžiausi kontaktiniai įtempiai

$$\sigma_{H max} = \sigma_{H4} \sqrt{K_{per}} = 354 \sqrt{1,7} = 462 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{H max} \leq \sigma_{H adm max 4} \rightarrow 462 \text{ MPa} \leq 800 \text{ MPa}.$$

Didžiausi lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F max} = \sigma_{F4} K_{per} = 45,1 \cdot 1,7 = 76,7 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{F max} \leq \sigma_{F adm max 4} \rightarrow 76,7 \text{ MPa} \leq 340 \text{ MPa}.$$

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