

6.3. Cilindrinė krumplinė perdava

Šiame poskyryje cilindrinės krumplinės perdavos greitaeigio krumpliaračio (mažojo, reduktoriuose – varančiojo) geometriniai ir jėginiai parametrai žymimi apatiniu indeksu „1“, o lėtaeigio (didžiojo, reduktoriuose – varomojo) – apatiniu indeksu „2“.

Cilindrinės krumplinės perdavos projektavimo **pradiniai duomenys**:

- perdavos tipas (atviroji ar uždaroji, tiesiakrumpė ar įstrižakrumpė, išorinio ar vidinio kabinimosi, krumpliaračių padėtis atramų atžvilgiu). Atvirąsias krumplines perdavas rekomenduojama gaminti tiesiakrumples;
- apkrovos grafikas arba tipinis darbo režimas ir apkrovos pobūdis;
- T_1 ir T_2 – mažojo ir didžiojo krumpliaračių perduodami sukimo momentai, Nm;
- n_1 ir n_2 – perdavos mažojo ir didžiojo krumpliaračių sukimosi dažniai, min^{-1} ;
- u – perdavos perdavimo skaičius;
- t_h – perdavos eksploatavimo laikas, h.

6.3.1. Medžiagų parinkimas ir leistinųjų įtempių nustatymas

Krumpliaračių medžiagų parinkimas. Cilindrinė ir kūginių krumplinių perdavų mažojo krumpliaračio kietumas turi būti didesnis už didžiojo. Tai sumažina strigimo tikimybę, suvienodina krumpliaračių dilimą ir pagerina jų įsidirbimą.

Tiesiakrumplių cilindrinė perdavų mažojo ir didžiojo krumpliaračių rekomenduojamas darbinis paviršių vidutinių kietumų skirtumas $H_{HB\ m1} - H_{HB\ m2} > 20 \dots 50$ HB, o cilindrinė įstrižakrumplių ir visų kūginių perdavų – $H_{HB\ m1} - H_{HB\ m2} > 100$ HB.

Rekomenduojamos krumpliaračių poros medžiagos ir jų terminis apdorojimas pateikti 6.11 lentelėje. Išsamesnė informacija apie medžiagų mechanines charakteristikas pateikta 6.12 lentelėje.

Kietumą H_{RC_e} ar HV vienetais galime perskaičiuoti į kietumą HB vienetais pagal empirines išraiškas:

$$H_{HB} = 0,0014 H_{HRC}^3 + 3,1 H_{HRC} + 154 ;$$

$$\left. \begin{aligned} H_{HB} &= (H_{HV} + 5)/1,07, \quad \text{kai } 100 \text{ HV} \leq H_{HV} \leq 640 \text{ HV}; \\ H_{HB} &= 526 \ln(H_{HV}/203), \quad \text{kai } H_{HV} > 640 \text{ HV}; \end{aligned} \right\}$$

čia H_{HB} – kietumas HB vienetais; H_{HRC} – kietumas H_{RC_e} vienetais; H_{HV} – kietumas HV vienetais. Gauta H_{HB} vertė apvalinama iki sveikojo skaičiaus.

6.11 lentelė. Rekomenduojamos cilindrinė ir kūginių perdavų krumpliaračių medžiagos ir terminis apdorojimas. Plačiau žiūrėti 6.12 lentelę

Perduodamas sukimo momentas T_2	Krumpliaračių medžiagos ir jų terminis (termocheminis) apdorojimas
iki 50 Nm (nedidelis)	Krumpliaračiai gaminami iš E295, S355J2G3, E335, E360, C45, 35, 45 ir pan. plienų. Abu krumpliaračiai termiškai neapdorojami arba normalizuojami.
50 ... 200 Nm (vidutinis)	Krumpliaračiai gaminami iš C45, C60ER, 37Cr4, 31NiCr14, 42CrV6, 35, 45, 40X, 40XH, 35XM ir pan. plienų. Mažasis krumpliaratis termiškai gerinamas, o didysis – normalizuojamas. Krumpliaračiai gaminami iš C45, C60ER, 37Cr4, 31NiCr14, 42CrV6, 34CrNiMo6, 45, 40X, 40XH, 35XM ir pan. plienų. Mažasis krumpliaratis termiškai gerinamas ir grūdinamas ADS, o didysis – termiškai gerinamas.
daugiau nei 200 Nm (didelis)	Krumpliaračiai gaminami iš 37Cr4, 42CrV6, 42MnV7, 30CrV9, 34CrNiMo6, 40X, 40XH, 35XM, 12XH3A, 20X, 25XGT, 38XMIOA ir pan. plienų. Mažasis krumpliaratis termiškai gerinamas, cementuojamas ir grūdinamas arba termiškai gerinamas ir azotinamas, o didysis – termiškai gerinamas ir grūdinamas ADS. Krumpliaračiai gaminami iš 37Cr4, 42MnV7, 30CrV9, 34CrNiMo6, 12XH3A, 20X, 25XGT, 38XMIOA ir pan. plienų. Abu krumpliaračiai termiškai gerinami, cementuojami ir grūdinami arba termiškai gerinami ir azotinami.

6.12 lentelė. Plienų, plačiai naudojamų krumpliaračių gamybai, terminis apdorojimas ir mechaninės charakteristikos

Plieno markė, standartas	Terminis (termocheminis) apdorojimas	Darbinio paviršiaus kietumas H	Kontaktinio patvarumo riba $\sigma_{H\ lim}$, MPa	Patvarumo riba lenkimui $\sigma_{F\ lim}$, MPa	Takumo riba σ_{yt} , MPa	Stiprumo riba σ_{ut} , MPa
E295 EN 10025	–	≈ 150 HV	370	330	295	490
S355J2G3 EN 10025	–	≈ 155 HV	380	340	355	510
E335 EN 10025	–	≈ 175 HV	420	360	335	590
E360 EN 10025	–	≈ 205 HV	480	400	360	690

Plieno markė, standartas	Terminis (termocheminis) apdorojimas	Darbinio paviršiaus kietumas H	Kontaktinio patvarumo riba $\sigma_{H\ lim}$, MPa	Patvarumo riba lenkimui $\sigma_{F\ lim}$, MPa	Takumo riba σ_{yt} , MPa	Stiprumo riba σ_{ut} , MPa
C45 EN 10083	N	≈ 155 HV	430	360	325	540
	TG	≈ 200 HV	520	410	390	640
C60ER EN 10083	N	≈ 200 HV	520	410	380	660
	TG	≈ 235 HV	590	450	440	740
37Cr4 EN 10083	TG	≈ 285 HV	690	510	630	880
	ADS	≈ 600 HV	1 140	450	540	790
	NC	≈ 615 HV	1 290	740	1 350	1 570
31NiCr14 DIN 1.5755	TG	≈ 290 HV	700	520	780	930
42CrV6 EN 10083	TG	≈ 300 HV	720	530	850	980
	ADS	≈ 600 HV	1 160	700	850	980
42MnV7 DIN 1.5223	A	≈ 550 HV	930	580	620	800
30CrV9 DIN 1.5223	A	≈ 800 HV	1 180	705	600	800
34CrNiMo6 EN 10083	ADS	≈ 600 HV	1 160	700	750	965
	A	≈ 750 HV	1 180	730	750	965
16MnCr5 EN 10084	C	≈ 650 HV	1 270	700	590	790
35 GOST 1050–88	N	163 ... 192 HB	430	340	270	550
45 GOST 1050–88	N	179 ... 207 HB	460	360	360	610
	TG	269 ... 302 HB	640	490	450	750
40X GOST 4543–71	TG	269 ... 302 HB	640	490	750	900
	ADS	45 ... 50 HRC	1 000	650	750	900
	A	50 ... 59 HRC	1 050	560	800	1 000
40XH GOST 4543–71	TG	269 ... 302 HB	640	490	750	920
	ADS	48 ... 53 HRC	1 060	570	750	920
35XM GOST 4543–71	TG	269 ... 302 HB	640	490	790	920
	ADS	48 ... 53 HRC	1 060	570	790	920
12XH3A GOST 14955–77	C	56 ... 63 HRC	1 200	680	700	920
20X GOST 4543–71	C	56 ... 63 HRC	1 200	750	800	980
25XIT GOST 14955–77	C	58 ... 63 HRC	1 250	850	950	1 150
38XMIOA GOST 14955–77	A	57 ... 67 HRC	1 050	640	900	1 050

Stulpelyje „Terminis (termocheminis) apdorojimas“ pateiktų trumpinių reikšmės: „–“ – termiškai neapdoroti; A – azotinimas; ADS – paviršinis grūdinimas aukšto dažnio srove; C – cementacija; N – normalizavimas; NC – nitrocementacija; TG – terminis gerinimas.

Ciklų skaičius. Kiekvieno krumpliaračio skaičiuojamasis kontaktinių ir lenkimo įtempių kitimo ciklų skaičius per visą perdavos eksploatavimo laiką:

$$N = 60 c n t_h, \quad \text{kai žinomas tipinis darbo režimas;}$$

$$N = 60 c \sum_{i=1}^{k_{ap}} (n_i t_i), \quad \text{kai žinomas apkrovos grafikas;}$$

čia: c – skaičius, rodantis su keliais krumpliaračiais vienu metu susikabina skaičiuojamasis krumpliaratis; n – krumpliaračio sukimosi dažnis, min^{-1} ; t_h – perdavos eksploatavimo laikas, h; n_i – krumpliaračio sukimosi dažnis per i -ąjį apkrovos režimą, min^{-1} ; t_i – i -ojo apkrovos režimo darbo laikas, h (žr. 3.1 pav.); k_{ap} – apkrovos režimų skaičius per visą perdavos eksploatavimo laiką.

Leistinieji kontaktiniai įtempiai. Abiejų krumpliaračių kontaktinio patvarumo ribas $\sigma_{H\ lim}$ parenkame iš 6.12 lentelės.

Ekvivalentinis kontaktinių įtempių kitimo ciklų skaičius per visą perdavos eksploatavimo laiką (skaičiuojamas abiemis perdavos krumpliaračiams):

$$N_H = N X_H;$$

čia X_H – darbo režimo koeficientas: kai žinomas tipinis darbo režimas, X_H vertė imama iš 6.13 lentelės, o kai žinomas apkrovos grafikas:

$$X_H = \frac{\sum_{i=1}^{k_{ap}} \left[n_i t_i \left(\frac{T_i}{T_{max}} \right)^3 \right]}{\sum_{i=1}^{k_{ap}} (n_i t_i)}; \quad (6.22)$$

T_{max} – didžiausias ilgalaikis momentas (žr. 3.1 pav.).

6.13 lentelė. Darbo koeficientų X_H ir X_F vertės, esant tipiniams darbo režimams

Tipinis darbo režimas	X_H	X_F		Tipinis darbo režimas, būdingas šiems įrenginiams
		$q_F = 6$ (vienoda medžiagos struktūra)	$q_F = 9$ (sukietintas krumplių darbinio paviršiumi)	
Pastovus	1,000	1,000	1,000	Jėginių ir siurblių mašinos
Sunkus	0,500	0,300	0,200	Kalnakasybos mašinos
Vidutinis	0,250	0,143	0,100	Transporto mašinos
Lengvas	0,125	0,038	0,016	Universalios metalo pjovimo staklės
Ypač lengvas	0,063	0,013	0,004	

Kontaktinių patvarumo įtempių bazinis ciklų skaičius $N_{H \text{ lim}}$ apskaičiuojamas pagal vidutinį medžiagos kietumą HB vienetais 10 000 ciklų tikslumu (skaičiuojamas abiemis perdavos krumpliaračiams):

$$\left. \begin{aligned} N_{H \text{ lim}} &= 10^7 \text{ ciklų,} && \text{kai } H_{\text{HB } m} \leq 200 \text{ HB;} \\ N_{H \text{ lim}} &= 30 \left(H_{\text{HB } m} \right)^{2,4} \text{ ciklų,} && \text{kai } 200 \text{ HB} < H_{\text{HB } m} \leq 563 \text{ HB;} \\ N_{H \text{ lim}} &= 120 \cdot 10^6 \text{ ciklų,} && \text{kai } H_{\text{HB } m} > 563 \text{ HB.} \end{aligned} \right\}$$

Ilgamžiškumo koeficientas (skaičiuojamas abiemis perdavos krumpliaračiams):

$$\text{atvirųjų perdavų} - Z_N = 1,00;$$

$$\left. \begin{aligned} \text{uždaryjū perdavų} - Z_N &= \min \left(Z_{N \text{ max}}; \sqrt[10]{\frac{N_{H \text{ lim}}}{N_H}} \right), && \text{kai } N_H < N_{H \text{ lim}}; \\ Z_N &= \max \left(0,85; \sqrt[20]{\frac{N_{H \text{ lim}}}{N_H}} \right), && \text{kai } N_H \geq N_{H \text{ lim}}; \end{aligned} \right\}$$

čia $Z_{N \text{ max}}$ – maksimali ilgamžiškumo koeficiento vertė. Krumpliaračių su vienoda medžiagos struktūra (terminiškai neapdorotų, normalizuotų ar terminiškai gerintų) $Z_{N \text{ max}} = 2,60$, o krumpliaračių su sukietintu krumplių darbinio paviršiumi (ADS, cementuotų, azotintų ir pan.) $Z_{N \text{ max}} = 1,60$.

Leistinieji kontaktiniai įtempiai (skaičiuojami abiemis perdavos krumpliaračiams):

$$\sigma_{H \text{ adm}} = \frac{\sigma_{H \text{ lim}} Z_N}{S_{H \text{ adm}}}, \text{ MPa};$$

čia: $\sigma_{H \text{ lim}}$, MPa; $S_{H \text{ adm}}$ – leistinasis atsargos koeficientas. Krumpliaračių su vienoda medžiagos struktūra $S_{H \text{ adm}} = 1,1$, o krumpliaračių su sukietintu darbinio paviršiumi $S_{H \text{ adm}} = 1,2$. Atsakingiems mechanizmams $S_{H \text{ adm}} = 1,3$.

Tiesiakrumplių krumpliaračių projektiniai leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$\sigma_{H \text{ adm}} = \min(\sigma_{H \text{ adm } 1}; \sigma_{H \text{ adm } 2}),$$

o įstrižakrumplių ar apskritakrumplių krumpliaračių projektiniai leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$\sigma_{H \text{ adm}} = 0,45 (\sigma_{H \text{ adm } 1} + \sigma_{H \text{ adm } 2});$$

čia $\sigma_{H \text{ adm } 1}$ ir $\sigma_{H \text{ adm } 2}$ – atitinkamai mažojo ir didžiojo krumpliaračių leistinieji kontaktiniai įtempiai, MPa.

Netiesiakrumplių perdavų projektiniai kontaktiniai leistinieji įtempiai dar turi tenkinti sąlygą:

$$\min(\sigma_{H \text{ adm } 1}; \sigma_{H \text{ adm } 2}) \leq \sigma_{H \text{ adm}} \leq C_H \min(\sigma_{H \text{ adm } 1}; \sigma_{H \text{ adm } 2});$$

čia C_H – perdavos tipo koeficientas: cilindrinų krumpliaračių perdavos $C_H = 1,23$, kūginių krumpliaračių perdavos $C_H = 1,15$.

Leistinieji lenkimo įtempiai. Abiejų krumpliaračių lenkimo patvarumo ribas $\sigma_{F \text{ lim}}$ parenkame iš 6.12 lentelės.

Ekvivalentinis lenkimo įtempių kitimo ciklų skaičius per visą perdavos eksploatavimo laiką (skaičiuojamas abiemis perdavos krumpliaračiams):

$$N_F = N X_F;$$

čia X_F – darbo režimo koeficientas. Kai žinomas tipinis darbo režimas, X_F vertė imama iš 6.13 lentelės, o kai žinomas apkrovos grafikas:

$$X_F = \sum_{i=1}^{k_{ap}} \left[n_i t_i \left(\frac{T_i}{T_{max}} \right)^{q_F} \right] / \sum_{i=1}^{k_{ap}} (n_i t_i); \quad (6.23)$$

kur q_F – nuovargio kreivės lygties laipsnio rodiklis: krumpliaračių su vienoda medžiagos struktūra $q_F = 6$, o krumpliaračių su sukietintu krumplių darbinio paviršiumi – $q_F = 9$.

6.14 lentelė. Apkrovos pobūdžio koeficiento K_A vertės

Varančiosios mašinos apkrovos pobūdis	Varomojo įrenginio apkrovos pobūdis			
	Pastovi	Pastovi su smūgiais	Kintama su smūgiais	Smūginė
Pastovi	1,00	1,25	1,50	1,75
Pastovi su smūgiais	1,10	1,35	1,60	1,85
Kintama su smūgiais	1,25	1,50	1,75	2,00
Smūginė	1,50	1,75	2,00	2,25

Išsamesnė informacija apie apkrovos pobūdžio koeficientą pateikta 6.3 lentelėje.

Ilgamžiškumo koeficientas (skaičiuojamas abiemis perdavos krumpliaračiams):

atvirųjų perdavų – $Y_N = 1,00$;

$$\left. \begin{aligned} \text{uždarytųjų perdavų – } Y_N &= \min \left(2,5; q_F \sqrt{\frac{N_{F \text{ lim}}}{N_F}} \right), \text{ kai } N_F < N_{F \text{ lim}}; \\ Y_N &= 1,00, \text{ kai } N_F \geq N_{F \text{ lim}}; \end{aligned} \right\}$$

čia $N_{F \text{ lim}}$ – lenkimo įtempių bazinis ciklų skaičius. Plieninių ir ketinių krumpliaračių $N_{F \text{ lim}} = 4 \cdot 10^6$.

Kintamos jėgos veikimo koeficientas:

cilindrinės krumplinės perdavos – $Y_A = 1 - 0,15 (K_A - 1)$;

kūginės krumplinės perdavos – $Y_A = 1,00$;

čia K_A – apkrovos pobūdžio koeficientas (žr. 6.14 lent.).

Leistinieji lenkimo įtempiai (skaičiuojami abiemis perdavos krumpliaračiams):

$$\sigma_{F \text{ adm}} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} Y_N Y_A}{S_{F \text{ adm}}}, \text{ MPa.}$$

čia $\sigma_{F \text{ lim}}$, MPa; $S_{F \text{ adm}}$ – leistinasis atsargos koeficientas. Krumpliaračių su vienoda medžiagos struktūra $S_{F \text{ adm}} = 1,6$, o krumpliaračių su sukietintu darbinium paviršiumi $S_{F \text{ adm}} = 1,8$. Atsakingiems mechanizmom $S_{F \text{ adm}} = 2,0$.

Projektiniai leistinieji lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F \text{ adm}} = \min(\sigma_{F \text{ adm } 1}; \sigma_{F \text{ adm } 2}).$$

čia $\sigma_{F \text{ adm } 1}$ ir $\sigma_{F \text{ adm } 2}$ – atitinkamai mažojo ir didžiojo krumpliaračių leistinieji lenkimo įtempiai, MPa.

2.1.2. Projektiniai skaičiavimai

2.1.2 poskyryje viršutinis ženklas naudojamas projektuojant išorinio kabinimosi perdavas, o apatinis – vidinio.

Tarpašinio atstumo nustatymas. Pločio koeficientas $\psi_{ba} = b_2 / a_w$ imamas pagal rekomendacijas, pateiktas 6.15 lentelėje. Pločio koeficientas $\psi_{bd} = b_2 / d_{w1}$:

$$\psi_{bd} = 0,5 \psi_{ba} (u \pm 1).$$

Apkrovos pasiskirstymo netolygumo, išilgai kontaktinės linijos, koeficientas $K_{H\beta}$ priklauso nuo ψ_{bd} , krumpliaračių poros padėties atramų atžvilgiu bei krumpliaračių poros įsidirbimo (krumpliaračiai laikomi įsidirbantys, kai $H_{HB \text{ m } 2} \leq 350 \text{ HB}$) ir gali būti apskaičiuotas pagal empirines formules, pateiktas 6.15 lentelėje.

Tarpašinis atstumas

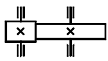
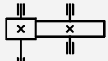
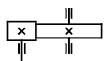
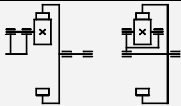
$$a_w = K_{a_w} (u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{K_A K_{H\beta} T_2}{u^2 \psi_{ba} \sigma_{H \text{ adm}}^2}}, \text{ mm;}$$

čia K_{a_w} – tarpašinio atstumo koeficientas, tiesiakrumplių perdavų $K_{a_w} = 570$, įstrižakrumplių – $K_{a_w} = 520$; T_2 , Nm; $\sigma_{H \text{ adm}}$, MPa.

Gautą tarpašinio atstumo a_w vertę apvalinti (rekomenduojama į didesnę pusę) iki skaičiaus iš pirmenybinės skaičių eilės R40 (http://stud.ppf.ktu.lt/vaiciulis/paskaitos/pirmenybiniai_skaiciai.pdf).

Jei reduktorių sudaro *dvi bendraašės krumplinės cilindrinės perdavos* (reduktoriaus greitaigės ir lėtaigės perdavų tarpašiniai atstumai yra lygūs), tai rekomenduojama pirma atlikti lėtaigės perdavos projektavimą, po to – greitaigės.

6.15 lentelė. Pločio koeficiento ψ_{ba} rekomenduojamos vertės ir apkrovos pasiskirstymo netolygumo išilgai kontaktinės linijos koeficiento $K_{H\beta}$ išraiškos

Krumpliaračių poros padėtis atramų atžvilgiu	ψ_{ba} (rekomenduojamos)	Didžiojo krumpliaračio kietumas $H_{HB\ m\ 2}$	$K_{H\beta}$ (apskaičiuoti 0,01 tikslumu)
Simetrinė (abiejų krumpliaračių) 	0,4 0,5	≤ 350 HB	$K_{H\beta} = 1 + 0,08 \psi_{bd}^{1,5} + 0,05 (TL - 5)$
		> 350 HB	$K_{H\beta} = 1 + 0,18 \psi_{bd}^{1,7} + 0,05 (TL - 5)$
Nesimetrinė (bent vieno krumpliaračio) 	0,250 0,315 0,400	≤ 350 HB	$K_{H\beta} = 1 + 0,15 \psi_{bd}^{1,3} + 0,05 (TL - 5)$
		> 350 HB	$K_{H\beta} = 1 + 0,37 \psi_{bd}^{1,6} + 0,05 (TL - 5)$
Geminė (bent vieno krumpliaračio) 	0,20 0,25	≤ 350 HB	$K_{H\beta} = 1 + 0,59 \psi_{bd}^{1,4+0,2\psi_{bd}} + 0,05 (TL - 5)$
		> 350 HB	$K_{H\beta} = 1 + 1,8 \psi_{bd}^{1,3+\psi_{bd}} + 0,05 (TL - 5)$
Vidinio kabinimosi perdava 	$0,2 \frac{u+1}{u-1}$	$K_{H\beta}$ išraiška priklauso nuo to, kaip įtvirtintas mažasis krumpliaratis. Jis paprastai tvirtinamas kaip gembė arba simetriškai.	
Čia TL – perdavos tikslumo laipsnis. Pradinėje projektavimo stadijoje TL yra nežinomas, todėl rekomenduojama imti TL = 9. Mažesnės pločio koeficiento ψ_{ba} vertės imamos krumpliaračiams su sukietintu krumplių darbinium paviršiumi.			

Modulio nustatymas. Didžiojo krumpliaračio pradinis skersmuo

$$d_{w2} = \frac{2 a_w u}{u \pm 1}, \text{ mm.} \quad (6.24)$$

Didžiojo krumpliaračio vainiko plotis

$$b_2 = \psi_{ba} a_w, \text{ mm.} \quad (6.25)$$

Gauta b_2 vertė, kai $b_2 \leq 25$ mm, apvalinami iki artimiausio sveiką skaičiaus, o kai $b_2 > 25$ mm – apvalinama iki artimiausio sveiką skaičiaus, kartotinio 5.

Mažiausias leistinas normalinis modulis (tiesiakrumpliams krumpliaračiams vietoje „ m_n “ visur reikia naudoti „ m “ žymėjimą):

$$m_{n\ min} = \frac{2000 K_{kt} K_A T_2}{d_{w2} b_2 \sigma_{F\ adm}}, \text{ mm;} \quad (6.26)$$

čia: K_{kt} – krumplių tipo koeficientas (tiesių krumplių perdavoms $K_{kt} = 6,8$; įstrižų krumplių – $K_{kt} = 5,8$; ševroninių – $K_{kt} = 5,3$); T_2 , Nm; d_{w2} , mm; b_2 , mm; $\sigma_{F\ adm}$, MPa.

Atvirųjų perdavų (jų krumpliaračių dilimas yra intensyvesnis nei uždaryjū) modulio vertę reikia padidinti 30 %, t. y. (6.26) formulėje vietoje „2000“ reikia naudoti „2600“.

Mažinant modulį m_n , kai nekeičiamas dalijamojo apskritimo skersmuo, krumplių skaičius ir krumplių persidengimo koeficientas didėja, o krumplių išpjovimo kaina ir trintis krumplių susikabinimo vietoje mažėja. Tačiau didesnio modulio krumpliaračiai turi mažesnius inercijos parametrus, yra atsparesni dilimui ir mažiau jautrūs įvairiems defektams (pavyzdžiui, terminio apdorojimo, liejimo ir kt.). Rekomenduojama didžiausia modulio vertė yra:

$$\text{greitaeigėms perdavoms} - m_{n\ max} = \frac{d_{w2}}{25 u}, \text{ mm;} \quad (6.27)$$

$$\text{lėtaeigėms perdavoms} - m_{n\ max} = \frac{d_{w2}}{(17 \dots 20) u}, \text{ mm;} \quad (6.28)$$

čia d_{w2} , mm.

Modulis m_n apvalinamas iki standartinės vertės (žr. 6.16 lent.) taip, kad $m_{n\ min} \leq m_n \leq m_{n\ max}$. Galimas atvejis kai gaunama $m_{n\ min} > m_{n\ max}$, tada turi būti tenkinama sąlyga $m_{n\ min} \leq m_n$.

6.16 lentelė. Standartinės modulių m_n vertės, mm

Pirmoji eilė	Antroji eilė	Pirmoji eilė	Antroji eilė	Pirmoji eilė	Antroji eilė	Pirmoji eilė	Antroji eilė	Pirmoji eilė	Antroji eilė
0,1	0,11	0,4	0,45	1,5	1,75	6,0	7,0	25	28
0,12	0,14	0,5	0,55	2,0	2,25	8,0	9,0	32	36
0,15	0,18	0,6	0,7	2,5	2,75	10	11	40	45
0,2	0,22	0,8	0,9	3,0	3,5	12	14	50	55
0,25	0,28	1,0	1,125	4,0	4,5	16	18	60	70
0,3	0,35	1,25	1,375	5,0	5,5	20	22	80 ir 100	90
Antrosios eilės modulių vertės naudojamos rečiau.									

Krumplių įstrižumo kampas (iš tikrųjų krumpliai yra ne įstriži, o sraigtinės formos). Projektuojant tiesių krumplių perdavą krumplių įstrižumo kampai neskaičiuojami, o imami lygūs 0, t. y. $\beta = \beta_b = \beta_w = 0$.

Minimalus įstrižakrumplių krumpliaračių įstrižumo kampas

$$\beta_{min} = \arcsin \frac{4 m_n}{b_2};$$

čia m_n , mm; b_2 , mm.

Kad labai neišaugtų krumplių susikabinime veikianti ašinė jėga F_a , rekomenduojamas įstrižakrumplių krumpliaračių įstrižumo kampas

$$\beta = 8^\circ \dots 20^\circ,$$

o ševroninių arba sudvejintų įstrižakrumplių krumpliaračių –

$$\beta = 25^\circ \dots 30^\circ.$$

Parinktas įstrižumo kampas turi tenkinti sąlygą

$$\beta \geq \beta_{min}. \quad (6.29)$$

Jei sąlyga (6.29) netenkinama, tai didinama β vertė. Kai β pasiekia didžiausią rekomenduojamą vertę, o (6.29) sąlyga vis dar netenkinama, tai rekomenduojama padidinti b_2 arba sumažinti m_n . Keičiant b_2 , reikia nepamiršti tinkamai jį suapvalinti, o keičiant m_n – suderinti su standartinė verte (žr. 6.16 lent.) ir įsitikinti, kad $m_n \geq m_{n min}$.

Krumplių skaičiai. Suminis krumplių skaičius

$$z_\Sigma = \frac{2 a_w \cos \beta}{m_n} \quad (6.30)$$

apvalinamas iki artimiausio sveikojo skaičiaus.

Mažojo krumpliaračio krumplių skaičius

$$z_1 = \frac{z_\Sigma}{u \pm 1} \geq z_{1 min}. \quad (6.31)$$

čia $z_{1 min} = 2 \cos \beta / \sin^2 \alpha \approx 17 \cos \beta$ – krumpliaračio, kurį galima pagaminti su neišpjautais krumplių kamienais, minimalus krumplių skaičius. Gautoji z_1 vertė apvalinama iki artimiausio sveikojo skaičiaus.

Jei (6.31) sąlyga tenkinama, tai mažąjį krumpliaračių galima gaminti be perštūmos ($x_1 = 0$) arba su ja ($x_1 > 0$ – kai norima padidinti mažojo krumpliaračio atsparumą lenkimui arba gauti reikiamą tarpašinį atstumą; paprastai mažojo krumpliaračio perštūma yra teigiama, o didžiojo – lygi nuliui arba neigiama). Įstrižakrumplius krumpliaračius rekomenduojama gaminti be perštūmos.

Jei (6.31) sąlyga netenkinama, tai mažojo krumpliaračio perštūmos koeficientas

$$x_1 = \frac{17 - z_1}{17} \leq 0,6. \quad (6.32)$$

Jei sąlyga (6.32) netenkinama, tai reikia didinti z_1 .

Rekomenduojamas didžiojo krumpliaračio perštūmos koeficientas

$$x_2 = \mp x_1.$$

Paprastai x_1 ir x_2 vertės apvalinamos iki artimiausio skaičiaus iš pirmenybinių skaičių eilės R40.

Kai (6.31) sąlyga netenkinama, bet norima krumpliaračius gaminti be perštūmos ($x_1 = x_2 = 0$), reikia:

- patikslinti suminį krumplių skaičių $z_\Sigma = 17 (u \pm 1) \cos \beta$ ir jį suapvalinti iki artimiausio didesniojo sveikojo skaičiaus;
- patikslinti tarpašinį atstumą $a_w \geq m_n z_\Sigma / (2 \cos \beta)$; a_w reikia apvalinti iki artimiausio didesnio skaičiaus iš pirmenybinių skaičių eilės R40;
- toliau skaičiuoti nuo (6.30) išraiškos.

Didžiojo krumpliaračio krumplių skaičius

$$z_2 = z_\Sigma \mp z_1.$$

Tikrasis perdavimo skaičius

$$u_T = \frac{z_2}{z_1}.$$

Nuokrypis nuo pradinės perdavimo skaičiaus u vertės negali būti didesnis už leistinąjį, t. y. $\pm 3\%$:

$$\Delta u = \left| \frac{u_T - u}{u} \right| 100\% \leq 3\%.$$

Jei pastaroji sąlyga netenkinama, keičiamos z_1 arba (ir) z_2 vertės tol, kol ši sąlyga bus tenkinama. Tam, kad nepasikeistų tarpašinis atstumas, rekomenduojama iš karto keisti abiejų krumpliaračių krumplių skaičių, t. y. vieno krumpliaračio krumplių skaičių sumažinti, o kito – padidinti.

Pagrindiniai geometriniai parametrai. Krumpliaračio su perstūma tangentinio kabinimosi kampas (kampas pjūvyje, statmename krumpliaračio ašiai):

$$\text{inv } \alpha_{wt} = \frac{2(x_2 \pm x_1) \text{tg} \alpha}{z_2 \pm z_1} + \text{inv} \alpha_t.$$

čia: $\alpha_t = \arctg(\text{tg} \alpha / \cos \beta)$ – krumpliaračio be perstūmos tangentinis kabinimosi kampas; $\alpha = 20^\circ$ – normalinis krumplio kabinimosi kampas.

Involiutės ($\text{inv} \alpha = \text{tg} \alpha - \alpha$) argumentas α , kai žinoma $\text{inv} \alpha$ vertė, randamas involiutės verčių lentelėse arba apskaičiuojamas taikant skaitinius metodus (žr. <http://stud.ppf.ktu.lt/vaiculis/inv/>).

Tiesiakrumplių krumpliaračių $\alpha_t = \alpha$, o krumpliaračių, kai $x_1 = x_2 = 0$ arba $x_2 = \mp x_1$, gauname $\alpha_{wt} = \alpha_t$.

Patiksliname krumplių įstrižumo kampą (jis apskaičiuojamas minučių tikslumu; jei skaičiuojama laipsniais, tai apskaičiuojamas 0,00001, t. y. 10^{-5} , tikslumu):

$$\beta = \arccos\left(\frac{m_n(z_2 \pm z_1) \cdot \cos \alpha_t}{2 a_w \cos \alpha_{wt}}\right).$$

Jei neišlaikoma $\beta \leq \beta_{min}$ sąlyga, tai atliekami veiksmai aprašyti po (6.29) formule ir skaičiavimai tęsiami nuo (6.30) išraiškos.

Tarpašinis atstumas

$$a_w = \frac{m_n(z_2 \pm z_1)}{2 \cos \beta} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}}, \text{ mm.} \quad (6.33)$$

Išlyginamasis perstūmos koeficientas:

$$\Delta y = x_2 \pm x_1 - \frac{z_2 \pm z_1}{2 \cos \beta} \left(\frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}} - 1 \right).$$

Kiti krumpliaračio geometriniai parametrai pateikti 6.17 lentelėje.

6.17 lentelė. Pagrindiniai cilindrinės krumplinės perdavos geometriniai parametrai

Geometrinio parametro pavadinimas	Geometrinių parametų išraiškos, mm	
	Mažojo krumpliaračio	Didžiojo krumpliaračio
Pradinis skersmuo	$d_{w1} = 2 a_w / (u_T \pm 1)$	$d_{w2} = u_T d_{w1}$
Dalijamasis skersmuo	$d_1 = z_1 m_n / \cos \beta$	$d_2 = 2 a_w \mp d_1$
Pašaknų skersmuo	$d_{f1} = d_1 - 2 m_n (h_f^* - x_1)$	$d_{f2} = d_2 \mp 2 m_n (h_f^* - x_2)$
Viršūnių skersmuo	$d_{a1} = d_1 + 2 m_n (h_a^* + x_1 \mp \Delta y)$	$d_{a2} = d_2 \pm 2 m_n (h_a^* \pm x_2 \mp \Delta y)$
Vainiko plotis	$b_1 = b_2 + (2 \dots 6) \text{ mm}$	žr. 6.25 formulę
Krumplio storis ant apskritimo, kurio skersmuo d_y	$s_y = d_y \left(\frac{\pi}{2z} + \frac{2x \text{tg} \alpha}{z} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_y \right)$; čia $\alpha_y = \arccos \frac{d_b}{d_y}$; $d_b = d \cos \alpha$ – pagrindinis skersmuo	

Gauta b_1 vertė, kai $b_1 \leq 25$ mm, apvalinami iki artimiausio sveikojo skaičiaus, o kai $b_1 > 25$ mm – apvalinama iki artimiausio sveikojo skaičiaus, kartotinio 5. Likusių parametų vertės apvalinamos 0,01 mm tikslumu.
Krumplio galvutės aukščio koeficientas $h_a^* = 1,00$; radialinio tarpelio koeficientas $c^* = 0,25$; krumplio kamieno aukščio koeficientas $h_f^* = h_a^* + c^*$.

6.18 lentelė. Krumplinių perdavų tikslumo laipsniai (pagal ISO 1328)

Tikslumo laipsnis	Maksimalus leistinas apskritiminis greitis v m/s, kai				Ribinis darbinų paviršių šiurkštumas, μm		K_1	
	perdava cilindrinė		perdava kūginė arba sliekinė		Ra_{min}	Ra_{max}	cilindrinė	kūginė
	krumpliai tiesūs	krumpliai įstriži	krumpliai tiesūs	krumpliai įstriži ar apskritieji				
5	35	50	5*	30	0,2	0,8	6,7	5,48
6	15	30	5*	20	0,4	1,6	13,3	9,50
7	8	12	5*	12	0,8	2,5	23,9	15,34
8	5	8	5	8	1,25	3,2	34,8	27,02
9	3	5	3	5	1,6	6,3	47,0	58,43

* – kai $v > 5$ m/s kūginėje pavaroje vietoje tiesių krumplių reikėtų naudoti įstrižus arba apskrituosius krumplius.

Perdavos tikslumo laipsnis priklauso nuo krumpliaračių apskritiminio greičio. Krumpliaračių apskritiminis greitis

$$v = \frac{\pi d_{w1} n_1}{60000}, \text{ m/s};$$

čia: d_{w1} , mm; n_1 , min^{-1} .

Perdavos tikslumo laipsnis parenkamas pagal apskaičiuotą v vertę (žr. 6.18 lent.). Uždarąsias perdavas rekomenduojama gaminti 9 ar tikslesnio tikslumo laipsnio.

Jėginiai parametrai (žr. 6.8 pav.). Laikoma, kad jėgos, atsirandančios krumpliaračių susikabinime, pridėtos ant krumpliaračių pradinių skersmenų d_{wi} . Apskritiminė jėga:

$$F_t = \frac{2000 T_1}{d_{w1}}, \text{ N};$$

čia T_1 , Nm; d_{w1} , mm.

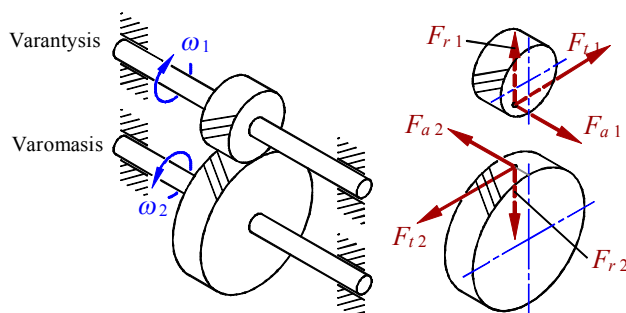
Radialinė jėga

$$F_r = \frac{F_t \operatorname{tg} \alpha_{wt}}{\cos \beta_w}, \text{ N};$$

čia $\beta_w = \arctg(\operatorname{tg} \beta \cos \alpha_t / \cos \alpha_{wt})$ – krumplių įstrižumo kampas ant pradinio apskritimo. Įstrižakrumplių krumpliaračių be perstūmos $\beta_w = \beta$.

Ašinė jėga, atsirandanti tik įstrižakrumplėse perdavose:

$$F_a = F_t \operatorname{tg} \beta_w, \text{ N}.$$



6.8 pav. Jėgos, veikiančios krumplinėje cilindrinėje perdavoje

6.3.3. Patikrinamieji skaičiavimai

Kai kurios projektinio skaičiavimo formulės yra supaprastintos, nes, nežinant krumpliaračių matmenų, negalima nustatyti realių darbo sąlygų, o kartu ir skaičiavimams reikalingų koeficientų verčių. Todėl būtina atlikti patikrinamuosius skaičiavimus. Tikrinamas krumplinių perdavų kontaktinis ir lenkimo patvarumas (nuovargis) bei stiprumas tam, kad per perdavos eksploatavimo laiką ar perkrovų metu nelūžtų krumpliai ir neištrupėtų jų darbiniai paviršiai.

Atvirųjų perdavų krumpliaračių darbinis paviršius intensyviai dyla, todėl dažniausiai nėra sąlygų nuovarginiams kontaktiniams pažeidimams atsirasti. Dėl šios priežasties *atvirųjų perdavų krumpliaračių kontaktinis patvarumas paprastai netikrinamas, tačiau kontaktinį stiprumą patikrinti būtina.*

Leistinių kontaktinių įtempių patikslinimas. Koeficientas, kuriuo įvertinama tepimo įtaka

$$Z_L = C_{ZL} + \frac{4(1,0 - C_{ZL})}{(1,2 + 80/v_{40})^2}; \quad (6.34)$$

čia: C_{ZL} – empirinis koeficientas (žr. 6.19 lent.); v_{40} – tepalo kinematinis klampis, esant 40°C temperatūrai. Rekomenduojamas plieninių krumpliaračių tepalo kinematinis klampis (apvalinti iki sveikojo skaičiaus):

$$v_{40} \approx \frac{0,45 \sigma_{H \text{ lim } m}}{0,8 + v^{0,6}}, \text{ mm}^2/\text{s}; \quad (6.35)$$

$\sigma_{H \text{ lim } m} = 0,5 (\sigma_{H \text{ lim } 1} + \sigma_{H \text{ lim } 2})$ – vidutinė krumpliaračių kontaktinio patvarumo riba, MPa; v – apskritiminis greitis, m/s. Koeficientas, kuriuo įvertinamas apskritiminis greitis

$$Z_v = C_{Zv} + \frac{2(1,0 - C_{Zv})}{\sqrt{0,8 + 32/v}}; \quad (6.36)$$

čia: $C_{Zv} = C_{ZL} + 0,02$; v – apskritiminis greitis, m/s.

Koeficientas, kuriuo įvertinamas krumplių paviršiaus šiurkštumas

$$Z_R = \left(\frac{1}{2 \text{ Ra}} \right)^{C_{ZR}};$$

čia: C_{ZR} – empirinis koeficientas (žr. 6.19 lent.); Ra – krumplių darbinių paviršių šiurkštumas, μm (žr. 6.18 ir 17.2 lent.).

6.19 lentelė. Koeficientų C_{ZL} ir C_{ZR} skaičiavimo formulės (apskaičiuoti 0,01 tikslumu)

Koeficientas	$\sigma_{H \text{ lim } m} < 850 \text{ MPa}$	$850 \text{ MPa} \leq \sigma_{H \text{ lim } m} \leq 1200 \text{ MPa}$	$\sigma_{H \text{ lim } m} > 1200 \text{ MPa}$
C_{ZL}	0,83	$0,6357 + \sigma_{H \text{ lim } m} / 4375$	0,91
C_{ZR}	0,15	$0,32 - 0,0002 \sigma_{H \text{ lim } m}$	0,08

Čia $\sigma_{H \text{ lim } m} = 0,5 (\sigma_{H \text{ lim } 1} + \sigma_{H \text{ lim } 2})$, MPa.

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumplių dydžio įtaka kontaktiniam stiprumui:

$$Z_X = 1,05 - 0,005 m_n; \quad (6.37)$$

čia m_n – normalinis modulis, mm (kūginių krumpliaračių – tai vidutinis normalinis modulis $m_{nm} = m_{tm} \cos \beta$). Koeficiento Z_X verčių intervalas: $0,9 \leq Z_X \leq 1,0$, t. y. $Z_X = \max[0,9; \min(1,0; 1,05 - 0,005 m_n)]$.

Patikslinami abiejų perdavos krumpliaračių leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$\sigma_{H \text{ adm}} = \frac{\sigma_{H \text{ lim}} Z_N}{S_{H \text{ adm}}} Z_L Z_v Z_R Z_X, \text{ MPa}. \quad (6.38)$$

Kontaktinio patvarumo apskaičiavimas. Perdavos krumpliaračių medžiagų mechaninių charakteristikų koeficientas

$$Z_E = \sqrt{\frac{E_1 E_2}{\pi [E_2 (1 - \nu_1^2) + E_1 (1 - \nu_2^2)]}}, \sqrt{\text{MPa}}; \quad (6.39)$$

čia E_1 , MPa ir ν_1 bei E_2 , MPa ir ν_2 – atitinkamai mažojo bei didžiojo krumpliaračių medžiagų tamprumo moduliai ir Puasono koeficientai.

Kai abu krumpliaračiai plieniniai ir $E_1 = E_2 \approx 2,06 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $\nu_1 = \nu_2 \approx 0,3$, turime $Z_E = 190 \sqrt{\text{MPa}}$.

Krumpliaračių krumplių formos koeficientas

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha_t} \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\text{tg } \alpha_{wt}}}; \quad (6.40)$$

čia $\beta_b = \arcsin(\sin \beta \cdot \cos \alpha)$.

Tiesiakrumplių perdavų be perstūmos $Z_H = 2,495$, o netiesiakrumplių perdavų be perstūmos krumplių formos koeficientas gali būti apskaičiuotas pagal empirinę formulę: $Z_H = 2,495 \cos(0,67 \beta)$.

Suminis kontaktinės linijos ilgio koeficientas

$$\left. \begin{aligned} Z_\varepsilon &= \sqrt{\frac{(4 - \varepsilon_\alpha)(1 - \varepsilon_\beta)}{3} + \frac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_\alpha}}, \text{ kai } \varepsilon_\beta < 1; \\ Z_\varepsilon &= \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}}, \text{ kai } \varepsilon_\beta \geq 1; \end{aligned} \right\} \quad (6.41)$$

čia: ε_α – skersinis krumplių persidengimo koeficientas; ε_β – ašinis krumplių persidengimo koeficientas

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b_2 \sin \beta}{\pi m_n}$$

Perdavų be perstūmos skersinį krumplių persidengimo laipsnį galima apskaičiuoti pagal empirinę formulę:

$$\varepsilon_{\alpha} \approx \cos \beta \left[1,88 - 3,20 \left(z_1^{-1} + z_2^{-1} \right) \right],$$

o perdavų su perstūma –

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{z_1 \left(\operatorname{tg} \alpha_{a1} - \operatorname{tg} \alpha_{wt} \right) + z_2 \left(\pm \operatorname{tg} \alpha_{a2} \mp \operatorname{tg} \alpha_{wt} \right)}{2 \pi},$$

čia $\alpha_{a1} = \arccos(d_1 \cos \alpha_t / d_{a1})$ ir $\alpha_{a2} = \arccos(d_2 \cos \alpha_t / d_{a2})$ – atitinkamai mažojo ir didžiojo krumpliaračio profilio kampas krumplio viršūnėje.

Krumplių įstrižumo kampo koeficientas

$$Z_{\beta} = \sqrt{\cos \beta} \quad (6.42)$$

Dinaminės apkrovos koeficientu K_V įvertinami kabinimosi metu atsirandantys smūgiai, gamybos paklaidos ir krumplių, velenų, guolių ir korpuso deformacijų žadinamos papildomos dinaminės jėgos. Tiesiakrumplių perdavų dinaminės apkrovos koeficientas

$$K_V = K_{V(\beta=0)} = 1 + \left(\frac{1,1235 K_1}{w_t} + 0,0193 \right) \frac{z_1 v}{100} \sqrt{\frac{u_T^2}{1 + u_T^2}},$$

o įstrižųjų krumplių perdavų –

$$K_V = K_{V(\beta>0)} = 1 + \left(\frac{K_1}{w_t} + 0,0087 \right) \frac{z_1 v}{100} \sqrt{\frac{u_T^2}{1 + u_T^2}}, \quad \text{kai } \varepsilon_{\beta} > 1;$$

$$K_V = K_{V(\beta=0)} - \varepsilon_{\beta} \left(K_{V(\beta=0)} - K_{V(\beta>0)} \right), \quad \text{kai } \varepsilon_{\beta} \leq 1;$$

čia: K_1 – koeficientas, priklausantis nuo perdavos tipo ir tikslumo (žr. 6.18 lent.); $w_t = \max(100; K_A F_t / b_2)$ – linijinė apkrova, N/mm; v , m/s.

Koeficientas $K_{H\alpha}$, kuriuo įvertinamas apkrovos pasiskirstymo netolygumas tarp krumplių, parenkamas iš 6.20 lentelės. Kai linijinė apkrova $K_A F_t / b_2 < 100$ N/mm, parenkant koeficiento $K_{H\alpha}$ vertę reikia laikyti, kad perdava yra 10 tikslumo laipsnio.

6.20 lentelė. Apkrovos pasiskirstymo netolygumo tarp krumplių koeficientai $K_{H\alpha}$ ir $K_{F\alpha}$ (apskaičiuoti 0,01 tikslumu)

Tikslumo laipsnis	Tiesiakrumplių krumpliaračių				Netiesiakrumplių krumpliaračių			
	$H_{HBm} \leq 470$ HB		$H_{HBm} > 470$ HB		$H_{HBm} \leq 470$ HB		$H_{HBm} > 470$ HB	
	$K_{H\alpha}$	$K_{F\alpha}$	$K_{H\alpha}$	$K_{F\alpha}$	$K_{H\alpha}$	$K_{F\alpha}$	$K_{H\alpha}$	$K_{F\alpha}$
5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10	1,10
7	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,20	1,20
8	1,10	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20	1,40	1,40
9	1,20	1,20	$K_{H\alpha 0}$	$K_{F\alpha 0}$	1,40	1,40	$K_{\alpha \beta}$	
10	$K_{H\alpha 0}$	$K_{F\alpha 0}$	$K_{H\alpha 0}$	$K_{F\alpha 0}$	$K_{\alpha \beta}$			

Čia: $H_{HBm} = 0,5 (H_{HBm1} + H_{HBm2})$; $K_{H\alpha|0} = \max(1,2; 1/Z_{\varepsilon}^2)$; $K_{F\alpha|0} = \max(1,2; 1/Y_{\varepsilon}^2)$; $K_{\alpha|\beta} = \max(1,4; \varepsilon_{\alpha} / \cos^2 \beta_b)$; $\beta_b = \arcsin(\sin \beta \cdot \cos \alpha)$.

Pagal tikrąją pločio koeficiento $\psi_{bd} = b_2 / d_{w1}$ vertę ir tikslumo laipsnį patikslinama apkrovos netolygaus pasiskirstymo išilgai kontaktinės linijos, koeficiento $K_{H\beta}$ vertė (žr. 6.15 lent.).

Pagal kontaktinio patvarumo sąlygą tikrinamas tas krumpliaratis, kurio patikslinti leistinieji kontaktinio patvarumo įtempiai yra mažesni:

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_{\varepsilon} Z_{\beta} \sqrt{\frac{K_A K_V K_{H\alpha} K_{H\beta} F_t (u_T \pm 1)}{b_2 d_{w2}}} \leq \sigma_{H adm}, \text{ MPa}; \quad (6.43)$$

čia: $Z_E, \sqrt{\text{MPa}}$; F_t, N ; d_{w2}, mm ; b_2, mm .

Skaičiuojamieji kontaktiniai įtempiai σ_H gali iki 3 % viršyti leistinuosius, t. y. $(\sigma_{H adm} - \sigma_H) / \sigma_{H adm} \geq -0,03$. Jei viršija daugiau, reikia didinti krumpliaračių vainiko plotčius b_1 ir b_2 , patikslinti ψ_{bd} bei $K_{H\beta}$ ir pakartotinai tikrinti

(6.43) sąlygą. Kai to nepakanka, tai: didinamas tarpašinis atstumas a_w arba keičiama to krumpliaračio medžiaga ar terminis apdorojimas, kurio patikslinti leistinieji kontaktinio patvarumo įtempiai $\sigma_{H adm}$ yra mažesni. Jei didinamas a_w , reikia nepamiršti, kad jo vertė turi būti iš pirmenybinių skaičių eilės R40, o toliau skaičiuojama nuo (6.24) išraiškos. Jei keičiama krumpliaračio medžiaga ar terminis apdorojimas, tai imama medžiaga su didesne kontaktinio patvarumo riba $\sigma_{H lim}$, iš naujo nustatomi leistinieji įtempiai ir atliekami projektiniai skaičiavimai.

Leistinių įtempių patikslinimas. Koeficientas, kuriuo įvertinamas medžiagos jautrumas įtempių koncentracijai (apskaičiuoti 0,01 tikslumu):

$$Y_\delta = 1, \quad \text{kai } H_{HB m 2} < 470 \text{ HB};$$

$$Y_\delta = 1 + 0,001 \left[0,5 (H_{HV m 1} + H_{HV m 2}) - 500 \right], \quad \text{kai } H_{HB m 2} \geq 470 \text{ HB};$$

čia $H_{HV m 1}$ ir $H_{HV m 2}$ – atitinkamai mažojo ir didžiojo krumpliaračių darbinio paviršiaus kietumas HV vienetais.

Kietumą HB vienetais galime perskaičiuoti į kietumą HV vienetais pagal empirines išraiškas (H_{HV} vertę apvalinti iki sveikojo skaičiaus):

$$H_{HV} = 1,07 H_{HB} - 5, \quad \text{kai } 100 \text{ HB} \leq H_{HB} \leq 600 \text{ HB};$$

$$H_{HV} = 203 \exp(0,0019 H_{HB}), \quad \text{kai } H_{HB} > 600 \text{ HB}.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumplių dydžio įtaka (apskaičiuoti 0,01 tikslumu):

$$Y_X = 1,05 - 0,01 m_n;$$

čia m_n , mm. Koeficiento Y_X verčių intervalas: $0,75 \leq Y_X \leq 1,0$, t. y. $Y_X = \max(0,75; \min(1,0; 1,05 - 0,01 m_n))$.

Koeficientas, kuriuo įvertinama krumplių pašaknų paviršiaus kokybė (apskaičiuoti 0,01 tikslumu):

$$Y_R = \min[1,00; 0,85 + 0,025 (11 - TL)];$$

čia TL – perdavos tikslumo laipsnis.

Patikslinami abiejų krumpliaračių leistinieji lenkimo įtempiai:

$$\sigma_{F adm} = \frac{\sigma_{F lim} Y_N Y_A}{S_{F adm}} Y_\delta Y_X Y_R, \text{ MPa.} \quad (6.44)$$

Patvarumo lenkimui apskaičiavimas. Apskaičiuojamas abiejų krumpliaračių koeficientas Y_{Fs} , kuriuo įvertinama krumplių forma ir įtempių koncentracija (apskaičiuoti 0,01 tikslumu):

$$Y_{Fs i} = 3,47 + \frac{13,2}{z_{vi}} - 29,7 \frac{x_i}{z_{vi}} + 0,092 x_i^2; \quad (6.45)$$

čia apatinis indeksas i žymi krumpliaračio numerį, t. y. „1“ arba „2“; $z_{vi} = \frac{z_i}{\cos \beta \cos^2 \beta_b}$ – ekvivalentinis

krumpliaračio krumplių skaičius.

Krumplių įstrižumo kampo koeficientas

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta^\circ}{120^\circ}.$$

Persidengimo koeficientas

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75 \cos^2 \beta_b}{\varepsilon_\alpha}.$$

Koeficientas $K_{F\alpha}$, kuriuo įvertinamas apkrovos pasiskirstymo tarp krumplių netolygumas, parenkamas iš 6.20 lentelės. Kai linijinė apkrova $K_A F_t / b_2 < 100 \text{ N/mm}$, parenkant koeficientą $K_{F\alpha}$ reikia laikyti, kad perdava yra 10 tikslumo laipsnio.

Apkrovos pasiskirstymo netolygumo išilgai kontaktinės linijos koeficientas

$$K_{F\beta} = K_{H\beta}^{n_F};$$

čia: $n_F = b_h^2 / (1 + b_h + b_h^2)$; kai krumpliai tiesūs $b_h = \max(3,0; 0,5 b_2 \varepsilon_\alpha / m)$, o kai įstriži – $b_h = \max(3,0; 0,5 b_2 / m_n)$.

Skaičiuojamieji didžiojo krumpliaračio lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F 2} = Y_{Fs 2} Y_\beta Y_\varepsilon \frac{K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} F_t}{b_2 m_n} \leq \sigma_{F adm 2}, \text{ MPa;} \quad (6.46)$$

čia: F_t , N; b_2 , mm; m_n , mm.

Skaičiuojamieji mažojo krumpliaračio lenkimo įtempiai

$$\sigma_{F 1} = \sigma_{F 2} \frac{Y_{Fs 1}}{Y_{Fs 2}} \leq \sigma_{F adm 1}, \text{ MPa.} \quad (6.47)$$

Skaičiuojamieji lenkimo įtempiai gali iki 3 % viršyti leistinuosius, t.y. turi būti tenkinama sąlyga $\Delta\sigma_F = 100\% (\sigma_{F adm} - \sigma_F) / \sigma_{F adm} \geq -3\%$. Jei viršija daugiau, reikia didinti krumpliaračių vainikų pločius b_1 ir b_2 , patikslinti ψ_{bd} bei $K_{F\beta}$ ir vėl tikrinti (6.46) ar (6.47) sąlygą. Kai to nepakanka, tai: didinamas modulis m_n arba keičiama krumpliaračio medžiaga ar terminis apdorojimas. Jei didinamas m_n , tai toliau skaičiuoti reikia nuo (6.29) išraiškos. Jei naujasis tarpašinis atstumas a_w gaunamas ne mažesnis už senąjį, tai kontaktinio patvarumo iš naujo tikrinti nereikia. Jei keičiama krumpliaračio medžiaga ar terminis apdorojimas, tai imama medžiaga su didesne patvarumo riba lenkimui $\sigma_{F lim}$, iš naujo nustatomi leistinieji įtempiai ir atliekami projektiniai skaičiavimai.

Skaičiuojamieji lenkimo įtempiai gali būti daug mažesni už leistinuosius, nes daugumos uždaryjū krumplinių perdavų apkrovos dydį riboja kontaktinis patvarumas.

Kontaktinio ir lenkimo stiprumo apskaičiavimas. Apskaičiuojami abiejų perdavos krumpliaračių didžiausi leistinieji kontaktiniai įtempiai:

$$\text{krumpliaračių su vienoda medžiagos struktūra} - \sigma_{H adm max} = 2,8 \sigma_{yt}, \text{ MPa};$$

$$\text{krumpliaračių su paviršiniu grūdinimu (ADS) ar cementacija} - \sigma_{H adm max} = 44 H_{HRC m}, \text{ MPa};$$

$$\text{azotintųjų krumpliaračių} - \sigma_{H adm max} = 3 H_{HV m}, \text{ MPa}.$$

Kietumą HV vienetais galime perskaičiuoti į kietumą HRC_e vienetais pagal empirinę išraišką (H_{HRC} vertę apvalinti iki sveikojo skaičiaus):

$$H_{HRC} = 115 - \frac{1470}{\sqrt{H_{HV}}}.$$

Didžiausi leistinieji lenkimo įtempiai (skaičiuojami abiemis krumpliaračiams):

$$\sigma_{F adm max} = 0,8 \sigma_{yt}, \text{ MPa, kai } H_{HB m} \leq 350 \text{ HB};$$

$$\sigma_{F adm max} = 0,6 \sigma_{ut}, \text{ MPa, kai } H_{HB m} > 350 \text{ HB}.$$

Kontaktinio ir lenkimo stiprumo sąlygos (pagal kontaktinio stiprumo sąlygą tikrinamas tas krumpliaratis, kurio didžiausi leistinieji kontaktiniai įtempiai yra mažesni; pagal lenkimo stiprumo sąlygą tikrinami abu krumpliaračiai):

$$\sigma_{H max} = \sigma_H \sqrt{\frac{T_{per}}{T_{max}}} \leq \sigma_{H adm max}; \quad (6.48)$$

$$\sigma_{F max} = \sigma_F \frac{T_{per}}{T_{max}} \leq \sigma_{F adm max}; \quad (6.49)$$

čia: σ_H ir σ_F – atitinkamai skaičiuojamieji kontaktiniai ir lenkimo įtempiai (žr. 6.43, 6.46 ir 6.47 formules); T_{per} ir T_{max} – atitinkamai perkrovimo (paleidimų, stabdymų ar reversavimų metu) ir maksimalus perdavos perduodamas sukimo momentai, Nm (žr. 3.1 pav.).

Jei apkrovos grafikas nežinomas, vietoje T_{per} / T_{max} paprastai naudojama elektros variklio charakteristika T_{max} / T_{nom} .

Jei viena iš sąlygų (6.48) ar (6.49) netenkinama, tai atliekami tokie pat veiksmai, kaip ir esant nepakankamam kontaktiniam arba lenkimo patvarumui, žr. rekomendacijas šio poskyrio „Kontaktinio patvarumo apskaičiavimas“ arba „Patvarumo lenkimui apskaičiavimas“ dalių pabaigoje.



Skaičiavimo rezultatus rekomenduojama surašyti į lentelę:

Parametras	Reikšmė ir matavimo vienetai	
Tikslumo laipsnis	...	
Tikras perdavimo skaičius	$u_T = \dots$	
Tarpašinis atstumas	$a_w = \dots \text{ mm}$	
Normalinis modulis	$m_n = \dots \text{ mm}$	
Krumplių forma - ...	$\beta = \dots^\circ$	
KRUMPLIARAČIŲ PARAMETRAI		
	Varančiojo (mažojo)	Varomojo (didžiojo)
Krumplių skaičius	$z_1 = \dots$	$z_2 = \dots$
Perstūmos koeficientas	$x_1 = \dots$	$x_2 = \dots$
Dalijamojo apskritimo skersmuo	$d_1 = \dots \text{ mm}$	$d_2 = \dots \text{ mm}$
Pradinio apskritimo skersmuo	$d_{w1} = \dots \text{ mm}$	$d_{w2} = \dots \text{ mm}$
Pašakny apskritimo skersmuo	$d_{f1} = \dots \text{ mm}$	$d_{f2} = \dots \text{ mm}$
Viršūnių apskritimo skersmuo	$d_{a1} = \dots \text{ mm}$	$d_{a2} = \dots \text{ mm}$
Krumplių vainiko plotis	$b_1 = \dots \text{ mm}$	$b_2 = \dots \text{ mm}$

Parametras	Reikšmė ir matavimo vienetai	
KRUMPLIARAČIŲ PARAMETRAI		
	Varančiojo (mažojo)	Varomojo (didžiojo)
Veleno, ant kurio bus tvirtinamas krumpliaratis, skersmuo	$d_{v1} = \dots \text{ mm}$	$d_{v2} = \dots \text{ mm}$
Stebulės ilgis	$L_{st1} = \dots \text{ mm}$	$L_{st2} = \dots \text{ mm}$
Stebulės skersmuo	$d_{st1} = \dots \text{ mm}$	$d_{st2} = \dots \text{ mm}$
Ratlankio storis	$\delta_{01} = \dots \text{ mm}$	$\delta_{02} = \dots \text{ mm}$
Ratlankio vidinis skersmuo	$D_{01} = \dots \text{ mm}$	$D_{02} = \dots \text{ mm}$
Disko storis	$\delta_{10} = \dots \text{ mm}$	$\delta_{20} = \dots \text{ mm}$
Disko standumo briaunų storis	$\delta_{11} = \dots \text{ mm}$	$\delta_{12} = \dots \text{ mm}$
Disko skylių centrų apskritimo skersmuo	$D_{sk1} = \dots \text{ mm}$	$D_{sk2} = \dots \text{ mm}$
Disko skylių skersmuo	$d_{sk1} = \dots \text{ mm}$	$d_{sk2} = \dots \text{ mm}$
Nuožulos	$c_1 = \dots \text{ mm}$	$c_2 = \dots \text{ mm}$
Užapvalinimo spinduliai	$r_1 = \dots \text{ mm}$	$r_2 = \dots \text{ mm}$
JĖGINIAI PARAMETRAI		
Apskritiminė jėga	$F_t = \dots \text{ N}$	
Radialinė jėga	$F_r = \dots \text{ N}$	
Ašinė jėga	$F_a = \dots \text{ N}$	

Tiesių krumplių krumpliaraciams vietoje „Normalinis modulis“ rašoma „Modulis“.

Ties krumplių forma įrašoma „tiesūs“ arba „strižai“.

Ne visi geometriniai parametrai (pavyzdžiui, L_{st} , d_{st} ir kt.) yra žinomi šioje kursinio projekto stadijoje. Šias lentelės eilutes užpildysime vėliau. Jei krumpliaratis neturi tam tikro geometrinio parametro (pavyzdžiui, jei krumpliaratis gaminamas iš vien su veleno, tada jis neturės L_{st} , d_{st} ir kt.), tai jo į lentelę įtraukti nereikia.