

$$a = \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_A}{\sigma_d^2} \cdot Z_E^2 \cdot Z_\rho^2} = \sqrt[3]{\frac{832600 \cdot 1.25}{242^2} \cdot 157^2 \cdot 2.9^2} = 153 \text{ mm},$$

gde je:

$$T_2 = P / \omega_1 = 11 / 152 = 0,0724 \text{ kNm} = 72,4 \text{ Nm} - \text{moment uvijanja na vrtilo puza},$$

$i = 12,5$ - zadata vrednost prenosnog odnosa,

$$\omega_1 = \pi \cdot n_1 / 30 = \pi \cdot 1450 / 30 = 152_s^{-1},$$

$$\eta = \text{tg} \gamma_m / \text{tg}(\gamma_m + \rho) = 0,4 / \text{tg} 23^\circ 30' = 0,4 / 0,4348 = 0,92,$$

$$\text{tg} \gamma_m = z_1 / q = 4 / 10 = 0,4; \gamma_m = 21^\circ 48' 5'',$$

$\mu = 0,03$ i $\rho = 1^\circ 42'$, ($\text{tg} \rho = \mu$) – koeficijent trenja i ugao trenja,

$K_A = 1,25$ – zadata vednost vektora spoljasnjih dinamičkih sila.

Dozvoljeni napon na bokovima zubaca puznog zubcanika za

P.CuZnA15 sa $\sigma_{H \text{ lim}} = 500 / \text{mm}$

$$\sigma_d = \sigma_{H \text{ lim}} \cdot Z_h \cdot Z_n / S = 500 \cdot 1,13 \cdot 0,43 / 1,3 = 242 \text{ N/mm}^2$$

gde je:

$$Z_h = \sqrt[6]{25000 / t} = \sqrt[6]{25000 / 12000} = 1,13 - \text{factor veka},$$

$$Z_n = \sqrt[8]{1 / (7,5n_2 + 1)} = \sqrt[8]{0,00114} = 0,43;$$

$n_2 = n_1 / i = 1450 / 1,5 = 116 \text{ min}^{-1}$ - broj obrtaja gonjenog vratila;

$S = 1,3$ – stepen sigurnosti bokova zubaca.

Faktor elasticnosti materijala P.CuZn25A15 prema tabeli 4.6 ME II iznosi:

$Z_E = 157,4 \text{ (N/mm}^2)^{1/2}$, factor dodira prema tabeli 4.7 ME II za predpostavljeni odnos

$d_{m1} / a = 0,35$ iznosi $Z_r = 2,9$.

Oсно rastjanje puznog para $a = 0,5(d_1 + d_2) = 0,5m(q + Z_2) = 2 \cdot 153 / (10 + 15) = 5,1 \text{ mm}$.

Usvaja se privremeno $m = 5 \text{ mm}$.

2. Stepen sigurnosti podnozija zubaca puznog zupcanika.

$$S = \sigma_{F \text{ lim} / \sigma_F} = 847/119 = 7,1, \text{ sto zadovoljava,}$$

gde je:

$\sigma_{f \text{ lim}} = 847 \text{ N/mm}^2$ - trajna izdrzljivost podnozija zubaca za usvojeni material

P.CuZn25A15,

$s_F = 2T_2 / d_2 = 2 \cdot 632600 / 550 = 12652 \text{ N}$ – obimna sila na puznom zupcaniku,

$b_2 = 0,8d_1 = 0,8m \cdot q = 0,8 \cdot 5 \cdot 10 = 40 \text{ mm}$ - sirina puznog zupcanika.

3. Proracun geometrijskih velicina puznog para za $x = 0$

Broj hodova $z_1 = 4$.

Prenosni odnos puznog para $i = 1,25$.

Broj zubaca puznog zupcanika $z_2 = 50$.

Modul zupcanika $m = 5 \text{ mm}$.

Standardni profil odredjen je sa $\alpha_n = 20^\circ$, $U_n = 1$; $c_n = 0,2$; $x = 0$.

Precnici podeonih krugova:

$$d_1 = m \cdot z_1 = 5 \cdot 10 = 50 \text{ mm}; \quad d_2 = m \cdot z_2 = 5 \cdot 50 = 250 \text{ mm}.$$

Ugao nagiba zavojnice na podeonom precniku:

$$\text{tg } g_m = z_1 q = 4/10 = 0,4 \quad \text{pa je} \quad g_m = 21^\circ 48' 5''.$$

Smer zavojnice puza-desni.

Oso rastojanje geometrijskih osa puza i puznog zupcanika,

$$a = (d_{t1} + d_{t2})/2 = (50 + 250)/2 = 150 \text{ mm}.$$

Precnici temeljnih krugova:

$$d_{a1} = d_{t1} + 2 \cdot m = 50 + 2 \cdot 5 = 60 \text{ mm},$$

$$d_{a2} = d_{t2} + 2 \cdot m = 250 + 2 \cdot 5 = 260 \text{ mm, usvojeno } 260 \text{ H11}.$$

Precnici podeonih krugova:

$$d_{f1} = d_{t1} - 2,4 \cdot m = 50 - 2,4 \cdot 5 = 38 \text{ mm},$$

$$d_{f2} = d_{t2} - 2,4 \cdot m = 250 - 2,4 \cdot 5 = 138 \text{ mm},$$

Precnik temenog kruga d'_{a2} puznog zupcanika prema slici 4.41 ME II:

$$d'_{a2} \leq d_{a2} + 2 \cdot m = 260 + 2 \cdot 5 = 270 \text{ mm, usvojeno } d_{a2} = 266 \text{ mm}.$$

Poluprecnik zaobljenja površine puznog zupcanika (sl. 4.41 ME II)

$$r = a - \frac{d_{a2}}{2} = 150 - \frac{260}{2} = 20 \text{ mm}.$$

Sirina puza (b_1) i puznog zupčanika (b_2):

$$b_1 > \sqrt{d_{a2}^2 - d_{t2}^2} = \sqrt{260^2 - 250^2} = 72 \text{ mm.}$$

Usvaja se $b_1 = 75 \text{ mm}$, $b_2 = 0,8d_{t1} = 0,850 = 40 \text{ mm}$.

Debljina navoja puza na podeonom cilindru:

$$S_{t1} = m \cdot \pi \cdot \cos \gamma / 2 = 5 \cdot \pi \cdot \cos 21^\circ 48' 5'' / 2 = 5 \cdot \pi \cdot 0,929 / 2 = 7,293 \text{ mm.}$$

Temena visina puza $h_1 = m = 5 \text{ mm}$.

4. Aktivne sile i sema opterećenja vratila

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2T}{d_1} K_A = \frac{2 \cdot 72400}{50} = 3620 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t2} = \frac{F_{t1}}{\operatorname{tg}(\gamma_m + \rho)} = \frac{3620}{\operatorname{tg} 23^\circ 30'} = \frac{3620}{0,4348} = 8326 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \operatorname{tg} \alpha = 8326 \operatorname{tg} 20^\circ = 3030 \text{ N}$$

5. Dimenzionisanje vratila I, izbor i provera klina i izbor i provera lezaja A i B.

Privremeno usvajamo $l_1 = 220 + B = 220 + 20 = 240 \text{ mm}$; $r_1 = 25 \text{ mm}$.

Otpori oslonaca u V-ravni:

$$F_{BV} = \frac{F_{r1} \cdot \frac{l_1}{2} - F_{a1} \cdot r_1}{l_1} = \frac{3030 \cdot 120 - 8326 \cdot 25}{240} = 648 \text{ N/}$$

$$\Sigma M_B = -F_{AV} \cdot l_1 + F_{a1} \cdot r_1 + F_{r1} \cdot l_1 / 2 = 0$$

$$F_{AV} = \frac{F_{r1} \cdot \frac{l_1}{2} - F_{a1} \cdot r_1}{l_1} = \frac{3030 \cdot 120 + 8326 \cdot 25}{240} = 2382 \text{ N.}$$

$$\Sigma Y = F_{AV} + F_{BV} - F_r = 2382 + 648 - 3030 = 0.$$

Otpori oslonaca u H-ravni

$$F_{AH} = F_{BH} = F_{t1} / 2 = 3620 / 2 = 1810 \text{ N.}$$

Radijalni otpori oslonaca:

$$F_{Ar} = \sqrt{F_{AH}^2 + F_{AV}^2} = \sqrt{1810^2 + 2382^2} = 100 \sqrt{18,10^2 + 23,82^2} = 3000 \text{ N.}$$

$$F_{Br} = \sqrt{F_{BH}^2 + F_{BV}^2} = \sqrt{1810^2 + 648^2} = 100 \sqrt{18,10^2 + 6,48^2} = 1920 \text{ N}$$

Ako se zanemare tezone delova na vratilima, momenti savijanja iznosa:

$$M_A = M_B = 0$$

$$M^d_{IV} = F_{AV} \cdot \frac{l_1}{2} = 2382 \cdot 120 = 285840 \text{ Nmm}$$

$$M^l_{IV} = F_{BV} \cdot \frac{l_1}{2} = 648 \cdot 120 = 77760 \text{ Nmm}$$

$$M_{IH} = F_{AH} \cdot \frac{l_1}{2} = 1810 \cdot 120 = 217200 \text{ Nmm}.$$

Za dimenzionisanje vratila merodavan je veci moment savijanja u presku 1a to je M^d_{IV} , odnosno M_{IH} .

$$(\text{Razlika momenata } M^d_{IV} - M^l_{IV} = F_{a1} \cdot r_1 = 8326 \cdot 25 = 208105 \text{ Nmm}.)$$

Do male razlike doslo je usled zaokruzivanja F_{AV} i F_{BV} .

$$M_1 = \sqrt{(M^d_{IV})^2 + (M_{IH})^2} = \sqrt{285840^2 + 217200^2} = 359875 \text{ Nmm}.$$

Moment uvijanja od spojnice do sredine puza, merodavan za dimenzionisanje vratila I iznosi:

$$T_{lmer} = T_1 \cdot K_A = 72400 \cdot 1,25 = 40500 \text{ Nmm}.$$

Za celik Č 4732 : $R_m = 900 \dots 1200 \text{ N/mm}^2$, $R_e = 650 \dots 900 \text{ N/mm}^2$,

$$\tau_{D(0)} = 370 \dots 550 \text{ N/mm}^2, \sigma_{D(-1)} = 320 \dots 390 \text{ N/mm}^2.$$

Sobzirom na to da je podnozni prečnik puza $d_{f1} = 40 \text{ mm}$, mogu se usvojiti:

$\tau_{D(0)} = 450 \text{ N/mm}^2$ i $\sigma_{D(-1)} = 360 \text{ N/mm}^2$ jer je uvijanje jednosmerno a savijanje naizmenicno promenljivo.

Zato se usvaja $S_\tau = 3$ i $S_\sigma = 4$, pa su dozvoljeni naponi: $\tau_d = \frac{\tau_{D(0)}}{S} = \frac{450}{3} = 150 \text{ N/mm}^2$;

$$\sigma_d = \frac{\tau_{D(0)}}{S} = \frac{360}{4} = 90 \text{ N/mm}^2 \text{ i koeficijent } \alpha_0 = \frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} = \frac{360}{450} = 0,8.$$

Merodavni momenti za proračun cvrstoce vratila:

$$M_{iS} = M_{iA} = \sqrt{0 + \left(\frac{\alpha_0}{2} T_{lmer}\right)^2} = \frac{\alpha_0}{2} T_{lmer} = 0,4 \cdot 90500 = 36200 \text{ Nmm}$$

(ili $T_{lmer} = 90500 \text{ N/mm}^2$ - ako se racuna sa τ_d);

$$M_{iI} = \sqrt{M_1^2 + \left(\frac{\alpha_0}{2} T_1\right)^2} = \sqrt{359875^2 + \left(\frac{0,8}{2} \cdot 90500\right)^2} = 370000 \text{ Nmm}.$$

Idealni (racunski) precnici vratila I iznose:

$$d_{is} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{is}}{\pi \cdot \sigma_d}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 36200}{\pi \cdot 90}} = 16 \text{ mm}$$

(ili $d_{is} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{lmer}}{\pi \cdot \tau_d}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 90500}{\pi \cdot 150}} = 15 \text{ mm}$);

$$d_{il} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{il}}{\pi \cdot \sigma_d}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 359875}{\pi \cdot 90}} = 35 \text{ mm.}$$

Precnik vratila jednak je podnoznom precniku puza, tj. $d_1 = d_{f1} = 38 \text{ mm} > d_{il}$, sto zadovoljava.

Prema navedenom vratilo i puz izradjuju se izjedna.

Racunski precnik spojnice treba povecati za dubinu zleba za klin i standardizovati:

$$d_s = d_{is} + t = 16 + 3,5 = 19,5 \text{ mm.}$$

Standardno je $d_s = 20 \text{ mm}$, pa bi se privremeno mogli usvojiti precnici vratila na lezajima $d_A = d_B = 25 \text{ mm}$.

Ovako usvojeni precnici d_s, d_A i d_B ne bi u potpunosti zadovoljili iz sledecih razloga.

- 1) Izlazni precnik elektromotora 4AZ160M-4 sa $P = 11 \text{ kW}$ i $n_E = 1450 \text{ min}^{-1}$ (zadati podaci) koji se pomocu spojnice S1 prikopca za reduktor iznosi 42 mm.

Do ovako velike razlike doslo je iz vise razloga:

- izlazni precnik vratila elektromotora dredjen je tako da omoguci i prenos kaisem, odnosno remenom od kojih je izlozen i savijanju;
- za vratilo elektromotora uzima se se veci stepen sigurnosti u odnosu na vratilo reduktora i
- vratilo elektromotora, po pravilu, izradjuje se od ugljenicnih celika C.1330, C.1530, (C.1730) ili od C.0545, dakle od celika znatno manje cvrstoce u odnosu na C.4732 koji je odabran tako da dimenzije reduktora budu sto manje.

- 2) Za spajanje elektromotora i reduktora, po pravilu, koriste se tipizirane elasticne spojnice ciji se otvor (provrt) moze razvrtati u odredjenom dijapazonu.

Tako na primer, ako odaberemo spojnicu sa elasticnim vencem (tabela 3.4 ME II) prema trajnom obrtnom momentu $T_{lmer} = 90,5 \text{ Nm}$, odnosno prema vecem tabelarnom $T = 150 \text{ Nm}$, otvor spjnice moze se razvrtati od 25 do 50 mm, te precnik vratila reduktora na mestu spojnice S₁ mora biti u datim granicama.

- 3) S obzirom na to da su lezaji optereceni velekim silama, njihova nosivost i radni vek bice veci ukoliko je precnik rukavca, odnosno provrta lezaja veci.

Iz navedenih razloga usvaja se $d_{s1} = 35\text{ mm}$ i $D_A = d_B = 45\text{ mm}$.

Konstrukciono rešenje puza izradjenog izjedna sa vratilom dato je na slici 4.43 ME II.

Izbor i provera klina na vratilu puza

Usvaja se zaobljeni klin bez nagiba cije su mere prema tabeli 4.7 ME I za $D = 35\text{ mm}$:

$b = 10\text{ mm}$, $h = 8\text{ mm}$, $t = h - t = 3,3\text{ mm}$.

S obzirom na to da je glavčina spojnice od sivig liva, usvaja se:

$$l_k = 1,5d = 1,5 \cdot 35 = 52,5\text{ mm}, l = l_k + b = 62,5\text{ mm}.$$

Usvaja se standardno $l = 70\text{ mm}$ (ili $l = 63\text{ mm}$).

Usvaja se klin $10 \times 8 \times 70\text{ JUS M.C2.060 - C.0645}$.

Površinski pritisak između klina i glavčine iznosi:

$$p = \frac{F_{tk}}{l_k \cdot t_1} = \frac{5170}{3,3 \cdot 60} = 25\text{ N/mm}^2,$$

gde je:

$$F_{tk} = \frac{2T_{lmer}}{d_s} = \frac{2 \cdot 90500}{35} = 5170\text{ N}.$$

Površinski pritisak zadovoljava jer je dozvoljeni površinski pritisak za celik/sivom livu $P_d = 45\text{ N/mm}^2$.

Provera stepena sigurnosti vratila na dužini klina

$$S = S_\tau = \frac{\tau_{D(0)} \xi_1 \xi_2}{\tau \cdot \beta_k} = \frac{450 \cdot 1 \cdot 0,8}{2,8 \cdot 14,5} = 8,8;$$

gde je:

$\tau_{D(0)} = 450\text{ N/mm}^2$ - usvojena vrednost za celik Č.4732.

$\xi_1 = 1$ - za brusene površine, što zahteva tolerancija $\text{Ø}35\text{k}6$ sa hrapavosti $R_z \leq 0,4\text{ mm}$, $\xi_2 = 0,8$ - usvojna vrednost faktora mere $\text{Ø}35$ za uvijanje.

Napon uvijanja u presecima vratila sa zlebom za klin:

$$\tau = \frac{T_{lmer}}{W_p} = \frac{16 \cdot 90500}{(35 - 0,3)^3 \cdot \pi} = 14,5\text{ N/mm}^2.$$

Efektivni faktor koncentracije napona:

$$b_k = (a_k - 1) \eta_k + 1 = (3 - 1)0,9 + 1 = 2,8,$$

gde je:

$a_k \approx 3$ - geometrijski factor koncentracije napona od zleba za klin (videti JUS M.C2.020).

$\eta_k = 0,9$ - usvojena vrednost faktora osetljivosti legiranog celika.

Stepen sigurnosti zadovoljava jer je $S_{\min} = 1,5 \dots 3$.

Izbor i provera lezaja

Na vratilu se najcesce ugradjuju prsteno konicno – valjcani lezajevi (302-323) – na svaki oslonac po jedan (b.sklopni crtez) ili dva navedena tipa lezaja na jednom osloncu koji u tom slucaju prihvata aksialnu silu i prsteni kuglicni sa radialnim dodirom na aksialno slobodnom osloncu (sl.72).

Na slobodnom osloncu ugradjuju se i cilindricno - valjcani lezaj ako je radialni otpora oslonca veliki.

Redje su kombinacije sa dva prstena kuglicnog lezaja sa kosim dodirom umesto konicno valjcanih ili prsteni kuglicni dvoredni sa kosim dodirom I prsteni kuglicni jednoredni sa radialnim dodirom.

Birmo varijantu sa konicno – valjcanim lezajevima na oba oslonca 30309.

Dinamicka nosivost lezaja 30309,C = 68kN(t.2.11 ME II)

Broj obrtaja vratila $n_1 = 1450 \text{min}^{-1}$.

Faktor temperature $f_t = 1$ za $t \leq 100^\circ \text{C}$.

Ekvivalentno opterecenje $F = xF_r + yF_a$,

gde je:

$F_r = F_{Ar} = 3000\text{N}$ - radialno opterecenje lezaja,

$F_a = F_{a1} = 8326\text{N}$ - aksialno opterecenje lezajeva.

Za lezaj 30309,prema tabeli 2.1 ME II,e = 0,34.

Odnos $F_a/F_r = 8326/3000 = 2,78 > e$ pa su koeficijenti $x = 0,4, y = 1,75$ te je :

$F = 0,4 \cdot 3000 + 1,75 \cdot 8326 = 15770\text{N} = 15,77\text{kN}$

Vek lezaja $L_n = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C \cdot f_t}{F} \right)^a = \frac{10^6}{60 \cdot 1450} \left(\frac{68 \cdot l}{15,77} \right)^{3,3} = 1200\text{h}$.

Vek lezajeva je mali

Za lezaj 32309,C = 90kN i njegov vek iznosi $L_n = 2130\text{h}$.

6.Dimenzionisanje vratila II,izbori provera klina i lezaja C i D

Na osnovu momenta uvijanja

$T_{2mer} = T_{1mer} \cdot i \cdot n_{1-2} = 90500 \cdot 12,5 \cdot 0,92 = 1040750\text{Nmm}$

I seme opterecenja vratila II,za malo $l_2 = 150\text{mm}$,o slicnom postupku kao i za vratilo

I,doslo bi do sledecih rezultata:

$d_{s2} = 60\text{mm}, d_c = d_D = 70\text{mm}, d_2 = 75\text{mm}$.

Usvojeni su lezaji 30314.

Klinovi su zaobljeni bez nagiba,i to:

- za spojnicu $S_2 18 \times 11 \times 110$ JUS M.C2.060 – Č.0645;

- za vezu vratila i tela puznog zupcanika $20 \times 12 \times 100$ JUS M.C2.060 - Č.0645.
S'obzirom na velike gubitke mehanicke energije prilikom prenosa puznim parom($n_{1-2} = 0,92$), predvidjeno je dodatno hladjenje reduktora pomocu ventilatora. Radionicki crtezi puza i venca puznog zupcanika dati su u udzbeniku ME II(sl.4.43 i sl.4.44).
Sklopni crtez reduktora sa sastavnicom dat je na slici 7.4.