

SPOJEVI VRATILA I OBRJNIH DELOVA

Uvod

Zadatak spojeva je prenošenje opterećenja, obrtnih momenata, poprečnih i podužnih sila sa vratila, osovina i rukavaca na obrtno delove i obrnuto. S tačke gledišta načina ostvarivanja veze razlikuju se:

Spojevi, koji prenose obrtni moment preko otpora klizanju između vratila i glavčine.

Spojevi, koji prenose obrtni moment preko posebnog oblika dodirnih površina.

Spojevi sa prednaponom, koji predstavljaju kombinaciju prve dve grupe i pretežno se baziraju na klinovima različitog oblika.

Prenos obrtnog momenta preko otpora klizanju

Spojevi pomoću dvodelnih i rasečenih glavčina

Pritisak na dodirnim površinama vratila i glavčine kod ovih spojeva ostvaruje se pomoću zavrtnejeva (sl. 1). Spojevi pomoću dvodelnih i rasečenih glavčina primenjuju se:

kod kaišnika i poluga koje se vezuju za glatko vratilo,

kod naknadne montaže mašinskih delova između delova na vratilu,

kada spojeni delovi naknadno moraju biti podešeni u aksijalnom pravcu i po obimu.

Ukoliko se prenosi veliki obrtni moment onda se ovi spojevi dodatno osiguravaju klinom bez nagiba, koji ima ulogu obezbeđenja tačnog ugaonog položaja dela na vratilu. Dimenzije glavčine određuju se empirijski.

Pri izboru tolerancija vratila i glavčine kod dvodelnih glavčina treba predvideti čvrsto naleganje. Kod rasečenih glavčina bira se neizvesno naleganje, na primer $H7/j6$, $H7/k6$, $H7/n6$, odnosno $J7/h6$, $K7/h6$, $J7/h8$.

Kod dvodelnih glavčina može se postići relativno ravnomerna raspodela pritiska duž glavčine, dok se kod rasečenih glavčina to ne može postići. Pored toga rasečena glavčina napregnuta je na savijanje. Pritisak između glavčine i vratila mora biti takav da sigurno bude preneti sila trenja

$$F_{\mu} \geq F_t = \frac{2C_A \cdot T}{d} \quad (1)$$

gde je T - obrtni moment a d - prečnik vratila.

Shodno sl. 1, v sila trenja F_{μ} može da se odredi prema:

$$F_{\mu} = \sum \Delta F_{\mu} = \sum \Delta \mu \cdot \Delta F_N = \mu_k \cdot p \cdot \sum \Delta A$$

S obzirom da je $\sum \Delta A = \pi d \cdot l$ to se dobija:

$$F_{\mu} = \mu_k \cdot p \cdot \pi \cdot d \cdot l$$

Uslov (1) sada glasi

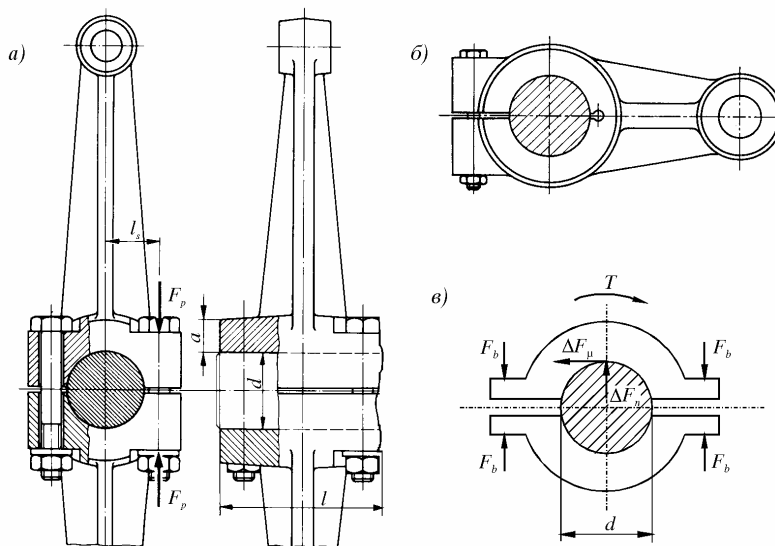
$$\mu_k \cdot p \cdot \pi \cdot d \cdot l \geq \frac{2C_A \cdot T}{d}$$

tako da je na dodirnim površinama potrebno ostvariti minimalni površinski pritisak:

$$p_{\min} \geq \frac{2 \cdot C_A \cdot T}{d^2 \cdot \pi \cdot \mu_k \cdot l} \leq p_{\text{doz}} \quad (2)$$

Ako je stezni spoj ostvaren sa z zavrtanja, onda sila po jednom zavrtanju iznosi:

$$F_b \geq p_z \cdot A_p = \frac{2 \cdot C_A \cdot T}{z \cdot d^2 \cdot \pi \cdot \mu_k \cdot l} \cdot d \cdot l$$



Sl. 1. Spojevi dvodelnim (a) i rasećenim glavčinama (b) i šema sila (v)

odnosno

$$F_b \geq \frac{2 \cdot C_A \cdot T}{z \cdot d \cdot \pi \cdot \mu_k} \quad (3)$$

U izrazima (1)...(3) označeni su sa:

- T - obrtni moment koji prenosi spoj,
- μ_k - koeficijent prijanjanja,
- C_A - faktor radnih uslova,
- d - prečnik vratila,
- l - dužina glavčine,
- z - broj zavrtneva steznog spoja (obično je $z=2$ ili $z=4$),
- p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak spoja, koji iznosi:
 - $p_{doz}=0,33R_e$ - za glavčine od čelika ili čeličnog liva,
 - $p_{doz}=0,2R_m$ - za glavčine od sivog liva.

Konusni stezni spojevi

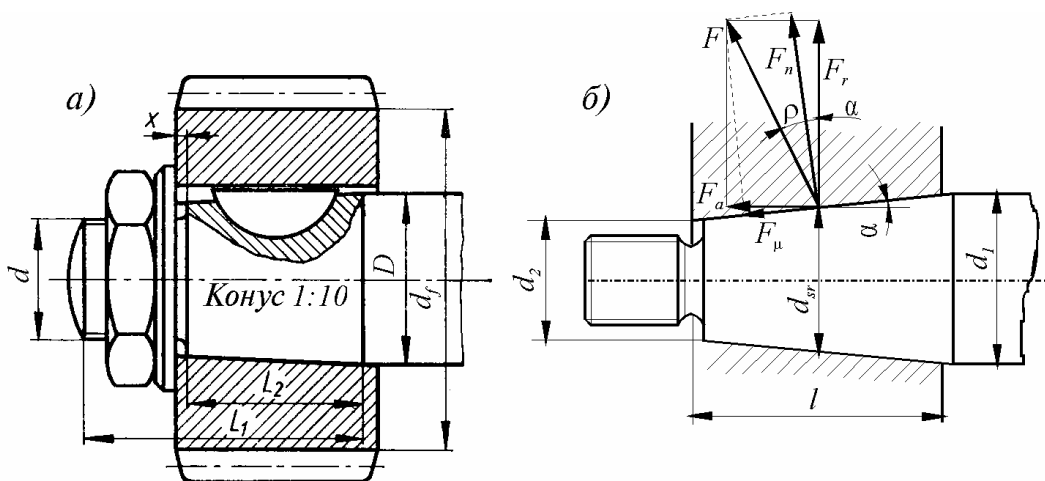
Dodirne površine kod konusnih steznih spojeva su konusnog oblika, a potreban pritisak između ovih površina dobija se delovanjem aksijalne sile na delovima spoja. Konusni stezni spojevi primenjuju se za:

- pričvršćivanje zupčanika, kaišnika i spojnica na krajevima vratila;
- pričvršćivanje alata na radnim vretenima alatnih mašina;
- pričvršćivanje kotrljajnih ležaja na vratilima.

Centriranje delova na vratilu obezbeđeno je oblikom konusa. Konus se definiše kao

$$C = \frac{d_1 - d_2}{l}, \text{ a ugao nagiba iznosi } \tan \alpha = \frac{d_1 - d_2}{2l} = \frac{C}{2}$$

Standardni konus na krajevima vratila iznosi $C = 1:10$ sa $2\alpha = 5,724^\circ$ (DIN 1448). Koristi se za učvršćivanje zupčanika, kaišnika i polutki spojnica. Pored veze konusom često se kao dodatno obezbeđenje koristi i klin (sl. 2,a). Uloga klina je i tačno ugaono pozicioniranje delova na vratilu. U toku montaže konus je lako podmazan uljem, a potrebna aksijalna sila obezbeđuje se zavrtanjem. Posle prvog opterećenja, neophodna je provera pritisne sile na dodirnim površinama dodatnim pritezanjem zavrtanja odnosno navrtke.



Sl. 2. Konstrukciono izvođenje (a) i šema sile (b) kod konusnog steznog spoja

Konusni stezni spoj ostvaruje se aksijalnim uklinjavanjem, pri čemu se zbog malog ugla nagiba dodirnih površina α , malom aksijalnom silom F_a ostvaruje velika normalna sila F_n . Sa sl. 2,b sledi $\sin(\alpha+\rho) = F_a/F$, a kako je $\cos \rho = F_n/F$ i $\tan \rho = \mu$, to se za poznatu aksijalnu silu F_a dobija normalna sila između dodirnih površina

$$F_n = \frac{F_a}{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha} \quad (4)$$

Obimna sila u trenutku proklizavanja - kritična obimna sila iznosi

$$[F_\mu] = \mu \cdot F_n$$

i mora biti uvek veća od radne obimne sile F_t , odnosno

$$[F_\mu] = \mu \cdot F_n > F_t \quad (5)$$

Da bi uslov (5) bio ispunjen uvodi se stepen sigurnosti protiv proklizavanja spoja $S_\mu = 1,25 \dots 1,5$ tako da dozvoljena obimna sila spoja F_t iznosi:

$$F_t = \frac{[F_\mu]}{S_\mu} = \frac{\mu \cdot F_n}{S_\mu} = \frac{2 \cdot T \cdot C_A}{d_{sr}} \quad (6)$$

gde je C_A - faktor radnih uslova, a d_{sr} - srednji prečnik dodirnog konusa: $d_{sr} = (d_1 + d_2)/2$.

Iz izraza (6) sledi obrtni moment koji može da prenese spoj:

$$T = \frac{\mu \cdot d_{sr} \cdot F_n}{2 \cdot C_A \cdot S_\mu} \quad (7)$$

Veličina normalne sile F_n ograničena je dozvoljenim površinskim pritiskom na dodirnim površinama, odnosno na dodirnim površinama ne sme doći do pojave plastičnih deformacija. Pritisak na dodirnim površinama (sl. 2,b) približno može da se odredi prema:

$$p \approx \frac{F_n}{d_r \cdot \pi \cdot l} \leq p_{doz} \quad (8)$$

Dozvoljeni površinski pritisak p_{doz} može se uzeti u granicama: $p_{doz} = 0,33 \cdot R_e$ - za čelik, odnosno $p_{doz} = 0,2 \cdot R_m$ - za sivi liv.

Shodno izrazu (8) maksimalna normalna sila na dodirnim površinama spoja iznosi $F_n = d_{sr} \cdot \pi \cdot l \cdot p_{doz}$ tako da konusni spoj može da prenese maksimalni obrtni moment

$$T = \frac{\mu \cdot d_{sr}^2 \cdot \pi \cdot l}{2 \cdot C_A \cdot S_\mu} \cdot p_{doz} \quad (9)$$

Prema izrazima (4) i (6) potrebna aksijalna sila utiskivanja F_a , koja se ostvaruje preko zavrtnja odnosno navrtke, iznosi:

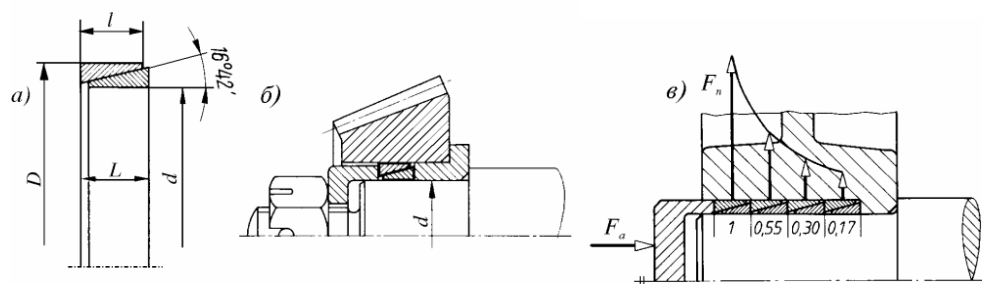
$$F_a = \frac{2 \cdot C_A \cdot T \cdot S_\mu}{\mu \cdot d_{sr}} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (10)$$

Rešenje konusnog steznog spoja prikazano na sl. 2,*a* konstrukciono je vrlo jednostavno, ali je složena izrada dovoljno tačnih konusnih površina oba dela. Samim tim centriranje delova na vratilu, kao i ravnomerna raspodela pritiska nisu obezbeđeni. Ovakvo rešenje može se primeniti samo na krajevima vratila. Zbog toga su konstrukciono definisana rešenja sa posebnim konusnim prstenovima, koji se izrađuju u specijalizovanim preduzećima. Spoj se sastoji od dva cilindrična prstena, koji se jedan po drugom dodiruju po konusnim površinama (sl. 3,*a*). Pritezanjem ovih prstenova jedan u odnosu na drugi aksijalnom silom, prstenovi klize jedan unutar drugog, pri čemu se elastično deformišu i uklinjavaju između vratila i glavčine. Ugao nagiba konusnih površina prstenova iznosi $\approx 17^\circ$, odnosno prstenovi nisu samokočeći, što omogućuje laku montažu i demontažu sklopa. U toku montaže prstenovi se lako naulje. Zbog male širine prstenovi ne mogu da centriraju obrtni deo u odnosu na vratilo.

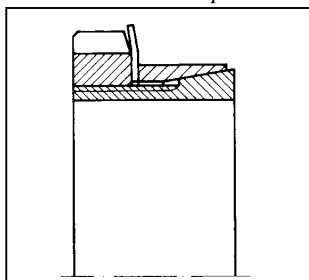
Preporučene tolerancije:

- za prečnik vratila $d \leq 38 \text{ mm}$: vratilo *h6*, otvor glavčine *H7* (za tolerancije prstenova *E7/f7*);
- za prečnik vratila $d > 38 \text{ mm}$: vratilo *h8* (*h9*), otvor glavčine *H7* ili *H8* (za tolerancije prstenova *E8/e8*);

Rešenje pomoću prstenova omogućuje pričvršćivanje obrtnih delova na bilo kom mestu u aksijalnom pravcu glatkog vratila, kao i ugaono podešavanje delova na vratilu. Pored lake montaže i demontaže, kod ovakvog spoja smanjena je i koncentracija napona na vratilu u odnosu na spojeve pomoću klina. Jedno od čestih konstrukcionih rešenja spoja sa konusnim prstenovima prikazano je na sl. 3,*b,v*. Kod rednog postavljanja većeg broja parova konusnih prstenova, njihova nosivost se smanjuje (sl. 3,*v*).



Sl. 3. Konusni stezni prstenovi (*a*), konstrukciono izvođenje spoja (*b*) i nosivost redno postavljenih prstenova (*v*)

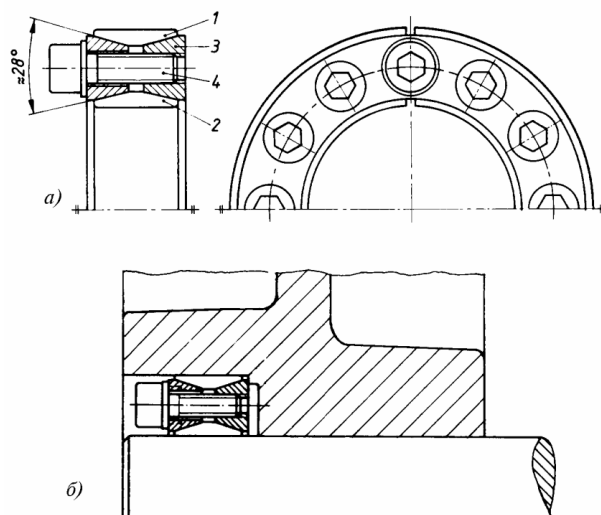


Jedno od mogućih konstrukcionih rešenja je konusni spoj sa rasečenom čaurom - sedlom (sl. 4). Čaura je na jednom mestu uzdužno rasečena, čime se postiže njena elastičnost pri uklinjavanju. Pritezanje čaure postiže se pomoću standardne prstenaste navrtke, a osigurava od samoodvrtnja pomoću posebnog osigurača.

Sl. 4. Konusni stezni sklop sa rasečenom čaurom

Jedno od najboljih konstrukcionih rešenja je veza vratila i glavčine pomoću sklopa sastavljenog od dva para konusnih prstenova (sl. 5,*a*). Ovaj sklop sastoji se od spoljašnjeg (1) i unutrašnjeg (2)

cilindričnog prstena koji su na jednom mestu aksijalno rasečeni. Prstenovi imaju klinasti oblik sa dvostrukim konusnim površinama. Između ovih površina postavljena su još dva bočna pritisna prstena (3), koji su međusobno povezani većim brojem zavrtnjeva (4). Pritezanjem zavrtnjeva prstenovi (1) i (2) radijalno se pomeraju, udaljavajući se jedan od drugog, čime se ostvaruje pritisak između vratila odnosno glavčine.

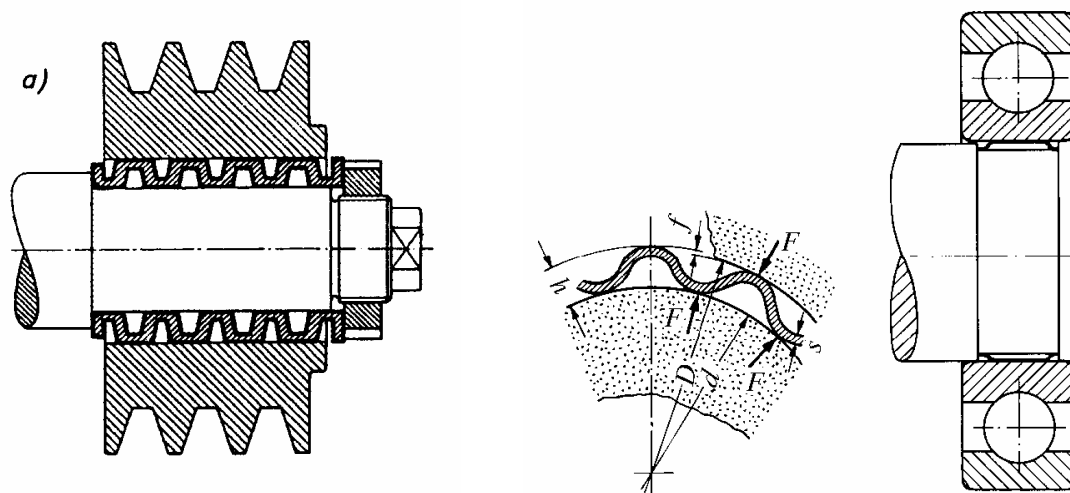


Sl. 5. Konusni stezni sklop sa dva para prstenova (a) i konstrukciono izvođenje spoja (b)

Negativna strana rešenja sa parom konusnih prstenova, je potreba za konstrukcionim izvođenjem mehanizma za ostvarivanje aksijalne sile. Kod rešenja sa dva para konusnih prstenova neophodno je samo predvideti odgovarajući prostor između vratila i glavčine (sl. 5,b). Pritezanjem zavrtnjeva koji se nalaze na samom sklopu ostvaruje se veza vratila i glavčine.

Konusni prstenovi imaju nagib od 28° , tako da spoj nije samokočeći, što omogućuje njegovu laku montažu i demontažu. U toku montaže sklop se lako naulji. Zbog relativno velikog hoda pritisnih prstenova pri montaži moguća je izrada sa sledećim tolerancijama: vratilo $k11$ i $h11$, a otvor glavčine sva polja između $N11$ i $H11$. Srednja hrapavost dodirnih površina vratila i glavčine treba da bude $R_z \leq 16 \mu m$.

Pored napred navedenih rešenja, primenjuju se i spojevi sa elastičnim elementima. U prstenasti otvor između vratila i glavčine ubacuju se elastični čelični elementi, čijom deformacijom se ostvaruje pritisak između dodirnih površina elenenata u spoju i na taj način prenosi obrtni moment (sl. 6).

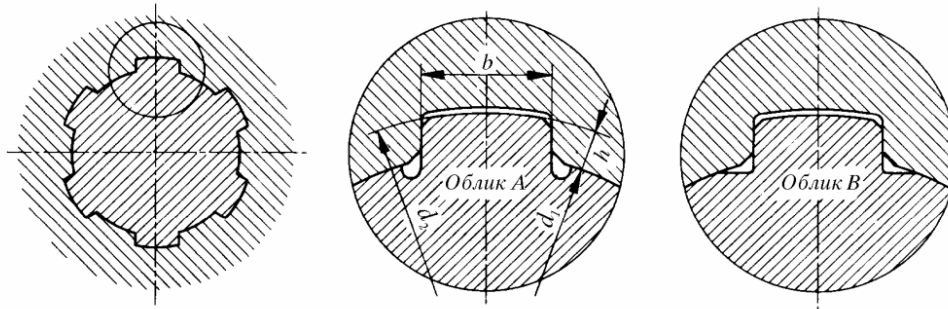


Sl. 6. Spoj ostvaren pritiskom elastičnom čaurom (a) i talasastom čaurom (b)

Spojevi oblikom dodirnih površina

Ožlebljeni spojevi

Kod ožlebljenih spojeva obrtni moment se prenosi preko posebnog oblika dodirnih površina. Vratilo i glavčina su ožlebljeni, tako da se konture njihovih žlebova međusobno poklapaju (sl. 7). Opterećenje istovremeno prenosi veći broj bočnih površina (4 do 20) raspoređenih po celom obimu spoja. Ovakvi spojevi mogu preneti velike, naizmenično promenljive obrtne momente, odnosno omogućuju kompaktnu konstrukciju sa malom dužinom glavčine. Spoj je moguće izvesti sa čvrstim naleganjem između vratila i glavčine, kao i sa labavim naleganjem gde je moguće aksijalno pomeranje spojenih delova na vratilu.



Sl. 7. Ožlebljeni spoj

Nedostaci ožlebljenih spojeva su zahtev za tačnom izradom dodirnih površina, što poskupljuje ovakvo konstrukciono rešenje. Pored toga žlebovi znatno slabe vratilo i glavčinu na mestu spoja i izazivaju koncentraciju napona.

Bočne površine preko kojih se prenosi opterećenje su ravne i upravne na pravac tangentne sile. Centriranje ose glavčine u odnosu na osu vratila može se postići na dva načina.

1. Preko unutrašnje površine međuzublja vratila (sl. 8, a). Ovaj način centriranja je tačniji i u primeni je kod alatnih mašina.

2. Preko bočnih površina žlebova, gde postoji zazor između prečnika vratila i glavčine (sl. 8, b). Ovo izvođenje je složenije za izradu u odnosu na prvo, ali može da se primeni kod prenosa udarnih i naizmenično promenljivih obrtnih momenata.

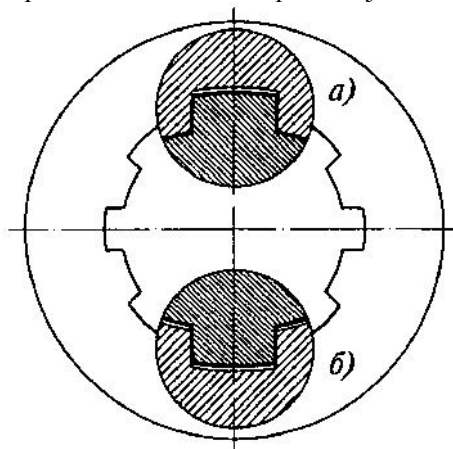
Centriranje preko spoljašnjih površina međuzublja glavčine nije uobičajeno.

Standardom su predviđene tri vrste ožlebljenih spojeva:

laki red (DIN 5462, SRPS M.C1.410), namenjen prvenstveno za laka opterećenja;

srednji red (DIN 5463, SRPS M.C1.421), namenjen prvenstveno za srednja opterećenja;

teški red (DIN 5464), namenjen prvenstveno za teška opterećenja.



Sl. 8. Centriranje preko unutrašnje (a) i bočne (b) površine kod ožlebljenih spojeva

Za alatne mašine posebno su predviđeni ožlebljeni spojevi sa manjim brojem žlebova odnosno klinova (DIN 5471, SRPS M.C1.440 - sa 4 klina, odnosno DIN 5472, SRPS M.C1.441 - sa 6 klina).

Proračun ožlebljenih spojeva sastoji se u proveri površinskog pritiska između nosećih bočnih površina žlebova. Raspodela opterećenja po obimu spoja nije ravnomerna, što se uzima u obzir faktorom ξ_r , koji zavisi od stepena tačnosti izrade i može se uzeti u granicama $\xi_r = 1,25 \dots 1,35$. Provera pritiska nosećih bokova žlebova (klinova) vrši se prema sledećem izrazu:

$$p = \frac{2 \cdot C_A \cdot T}{d_m \cdot l \cdot h_a \cdot z} \cdot \xi_r \leq p_{doz} \quad (11)$$

T - nominalni obrtni moment, koji prenosi spoj;

C_A - faktor radnih uslova;

l - noseća dužina spoja;

$d_m = (d_1 + d_2)/2$ - srednji prečnik spoja;

h_a - noseća visina spoja;

z - broj klinova spoja;

ξ_r - faktor neravnomerne raspodele opterećenja;

p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak slabijeg materijala u spoju;

$p_{doz} = R_e/S = R_e/(2 \dots 3)$ - za čelik

$p_{doz} = R_m/S = R_m/(3 \dots 4)$ - za sivi liv.

Za usvojenu vrednost p_{doz} moguće je prema izrazu (11) odrediti potrebnu dužinu glavčine l .

Ozubljeni spojevi

Za razliku od ožlebljenih spojeva, gde su po obimu postavljeni klinovi, kod ozubljenih spojeva po obimu su za prenos obrtnog momenta postavljeni zupci. Zupci mogu biti trouglastog oblika sa ravnim bokovima (sl. 9,a) i evolventnog oblika sa bokovima u obliku evolventi (sl. 9,b).

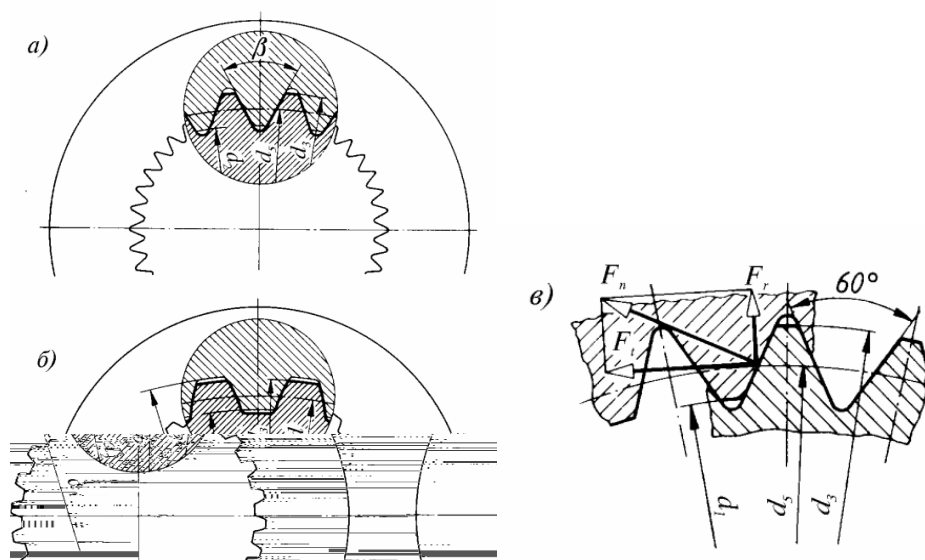
Prednosti ozubljenih u odnosu na ožlebljene spojeve su sledeće:

veći broj zubaca po obimu manje visine, tako da je i slabljenje vratila i glavčine manje;

mogućnost izrade postupkom relativnog kotrljanja, čime se postiže veća tačnost, a samim tim i veća nosivost pre svega za udarna opterećenja;

veći broj zubaca pruža veći broj mogućih ugaonih položaja obrtnih delova na vratilu.

Nedostatak ozubljenih veza u odnosu na ožlebljene veze je što su noseće dodirne površine postavljene pod uglom u odnosu na tangenti pravac podeone kružnice, tako da se pri prenosu obrtnog momenta indukuje dodatna radijalna komponenta sile. Ova sila ima tendenciju radijalnog širenja glavčine (sl. 9,v).



Sl. 9. Ozubljeni spoj sa ravnim (a) i evolventnim (b) bokovima zubaca i način prenošenja opterećenja (v)

Ozubljeni spojevi sa trouglastim profilom primenjuju se prvenstveno za čvrstu vezu vratila i obrtnih delova, dok se spojevi sa evolventnim profilom primenjuju i za čvrste i za labave, aksijalno pokretne spojeve.

Kao i kod ožlebljenih spojeva, proračun ozubljenih spojeva sastoji se u proveru površinskog pritiska između nosećih bočnih površina zubaca (sl. 9):

$$p = \frac{2 \cdot C_A \cdot T}{d_m \cdot l \cdot h_a \cdot z} \cdot \xi_r \leq p_{doz} \quad (12)$$

T - nominalni obrtni moment, koji prenosi spoj;

C_A - faktor radnih uslova;

l - noseća dužina spoja;

$d_m = (d_2 + d_3)/2$ - srednji prečnik spoja;

h_a - noseća visina spoja:

$h_a = 0,5(d_3 - d_2)$ - za spoj sa trouglastim profilom;

$h_a = 0,5(d_3 - d_2 - 0,25m)$ - za spoj sa evolventnim profilom;

z - broj zubaca spoja;

ξ_r - faktor neravnomerne raspodele opterećenja - $\xi_r = 1,3$;

p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak slabijeg materijala u spoju;

$p_{doz} = R_e/S = R_e/(2...3)$ - za čelik

$p_{doz} = R_m/S = R_m/(3...4)$ - za sivi liv.

Poligonalni spojevi

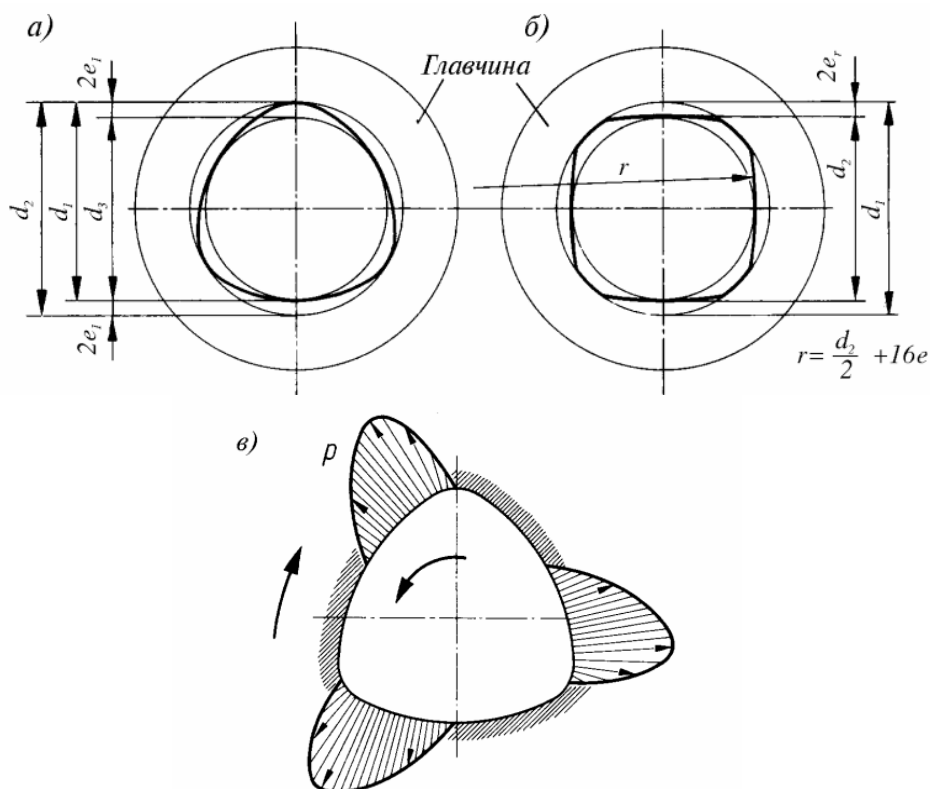
Nedostatak ožlebljenih i ozubljenih spojeva je što znatno slabe presek vratila i izazivaju koncentraciju napona. Ovi nedostaci otklonjeni su primenom poligonalnih spojeva. Najčešći teorijski profil poligonalnih spojeva su ravnostrani trougao ili kvadrat. Stranice i uglovi teorijskih profila su odgovarajuće zaobljeni, tako da spoj leži između dva koncentrična kružna cilindra (sl. 10,a,b). Prelazi su kontinualni, tako da je koncentracija napona vrlo mala.

Poligonalni spojevi prenose obrtne momente i predviđeni su za čvrste (nepokretne) i labave (aksijalno pokretne) spojeve vratila i glavčine. U odnosu na ožlebljene spojeve izrada poligonalnih spojeva je jednostavna, ali se izvodi na specijalnim mašinama. Pri prenošenju obrtnog momenta na dodirnim površinama nastaju veliki površinski pritisci (sl. 10,v), koji znatno radijalno naprežu glavčinu, tako da ovi spojevi imaju manju nosivost u odnosu na ožlebljene spojeve. Izrada profila u kvalitetu 6 obezbeđuje zadovoljavajuću centričnost ose glavčine i ose vratila i povoljnu raspodelu pritiska.

U pogledu naponskog stanja spoj sa kvadratnim profilom je povoljniji u odnosu na spoj sa trouglastim profilom. Trouglasti profili primenjuju se za nepokretne spojeve, a kvadratni profili i za nepokretne i za aksijalno pokretne spojeve.

Poligonalni spojevi primenjuju se u opštem mašinstvu, kod alatnih mašina, kod teretnih vozila kao i u elektroindustriji.

Proračun poligonalnih spojeva sastoji se u proveru maksimalnog površinskog pritiska između dodirnih površina vratila i glavčine:



Sl. 10. Polygonalni spojevi sa trouglastim (a) i kvadratnim (b) profilom i raspodela pritiska (v)

spoj sa trouglastim profilom

$$P = \frac{C_A \cdot T}{l \cdot (2,36 \cdot d_1 \cdot e_1 + 0,05d_1^2)} \leq P_{doz} \quad (13)$$

spoj sa kvadratnim profilom

$$P = \frac{C_A \cdot T}{l \cdot (\pi \cdot d_r \cdot e_r + 0,05d_r^2)} \leq P_{doz} \quad (14)$$

T - nominalni obrtni moment, koji prenosi spoj;

C_A - faktor radnih uslova;

l - noseća dužina spoja;

d_1 - merodavni prečnik glavčine - sl. 10, a;

d_r - merodavni računski prečnik: $d_r = d_2 + 2e$; d_2 - sl. 10, b;

e_1, e_r - ekscentričnost profila;

p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak slabijeg materijala u spoju;

$p_{doz} = R_e/S = R_e/(2...3)$ - za čelik

$p_{doz} = R_m/S = R_m/(3...4)$ - za sivi liv.

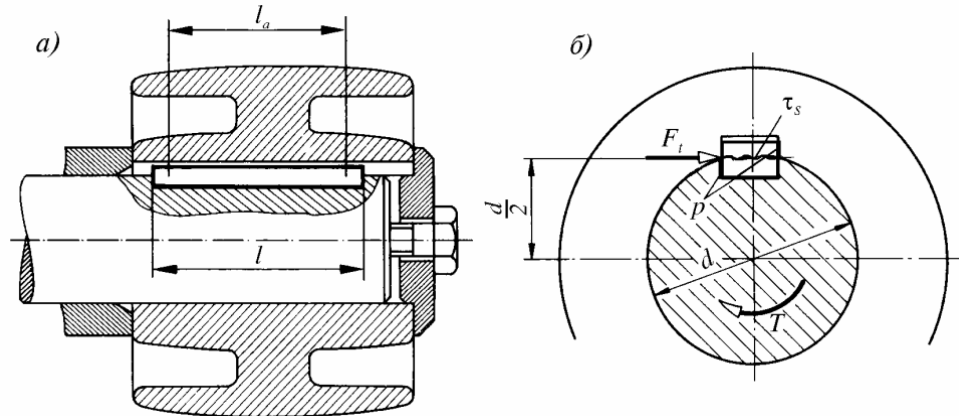
Klinovi bez nagiba

Ovo su najčešće korišćeni spojevi za vezu kaišnika, zupčanika, spojnice itd. sa vratilima za prenos jednosmerno promenljivih obrtnih momenata. Na vratilu i glavčini izrađeni su podužni žlebovi u koje se postavlja klin u obliku prizme (sl. 11, a). Spoj se konstrukciono tako izvodi da obrtni moment prenose samo bočne površine, dok između dna žleba glavčine u gornje (temene) površine klina postoji znatan zazor (sl. 11, b). Centriranje vratila i glavčine ostvaruje se po cilindričnoj dodirnoj površini i

spoj nema uticaj na centričnost delova. Za sigurno prenošenje obrtnog momenta neophodno je između nosećih dodirnih površina ostvariti odgovarajuće čvrsto naleganje.

Prednosti ovih spojeva:

- jednostavna montaža i demontaža bez primene udarnih sila;
- jednostavna izrada žlebova i samog klina;
- mogućnost povećanja nosivosti spoja postavljanjem dva klina;
- primena i za aksijalno pokretne spojeve;
- spoj nema uticaja na centričnost povezanih delova.

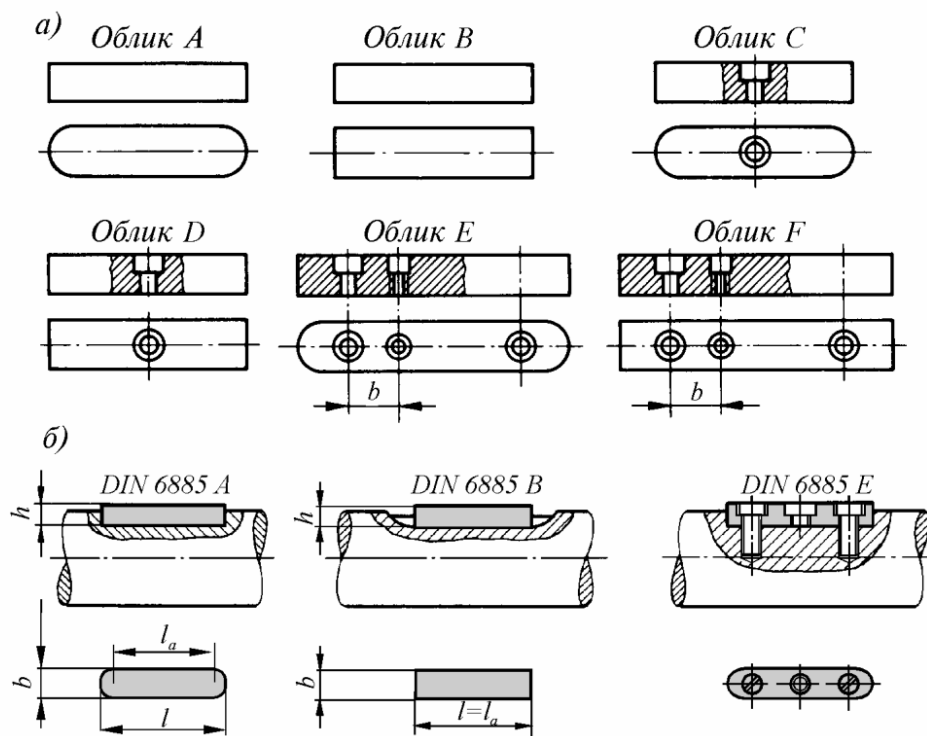


Sl. 11. Konstrukciono izvođenje spoja klinom bez nagiba (a) i opterećenje spoja (b)

Nedostaci ovih spojeva:

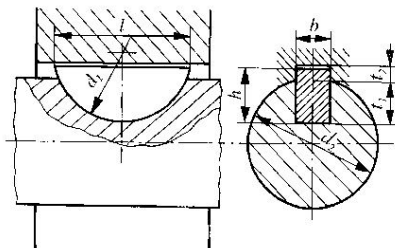
- nije moguća primena za udarne naizmjenično promenljive obrtne momente, jer pri tome nastaju relativna mikrokretanja vratila i glavčine praćena korozijom i razaranjem površinskih slojeva;
- znatna koncentracija napona na vratilu ($\beta_k = 2...2,5$);
- potreba za dodatnim obezbeđenjem protiv aksijalnog pomeranja delova spoja;
- ne preporučuje se primena kod brzohodnih vratila.

Konstrukciono je definisano i standardom predviđeno više oblika klinova bez nagiba (sl. 12 - oblici A,B,C,D,E,F - DIN 6885, odnosno SRPS M.C2.020, 030, 060, 062). Najčešće je u primeni klin oblika A, čije su čone površine zaobljene, tako da se žleb u vratilu izrađuje vretenastim glodalom. Klin oblika B ima ravne čone površine, tako da se žleb na vratilu izrađuje glodalom u obliku diska. Kod spojeva kod kojih se zahteva aksijalna pokretljivost delova primenjuje se oblik E, gde se klin za vratilo pričvršćuje zavrtanjima a za demontažu je predviđen poseban navoj u sredini.



Sl. 12. Standardni oblici klinova bez nagiba (a) i njihov položaj u žlebu vratila (b)

Standardom su predviđene dve visine klinova h - visoki i niski klinovi bez nagiba. Kod niskih klinova slabljenje i koncentracija napona kod vratila je manja, ali je manja i nosivost takvih spojeva.



Sl. 13. Segmentni klin

Kod alatnih mašina i kod teških teretnih vozila u primeni su spojevi sa segmentnim klinovima (sl. 13). Klin je oblika kružnog odsečka, tako da zadire u vratilo na većoj dubini. To dosta slabi vratilo i izaziva visoku koncentraciju napona, pa je i nosivost takvih spojeva manja.

Kao materijal za izradu predviđen je hladno valjani čelik C45, ali se po potrebi mogu da koriste i drugi materijali.

Standardne mere visokih klinova bez nagiba date su zavisno od prečnika vratila, odnosno sklop je tako konstrukciono definisan da su dimenzije saglasne sa nosivošću spoja. Shodno tome proračun nosivosti spoja sastoji se samo u proveru površinskog pritiska nosećih bočnih površina (sl. 11,b):

$$p = \frac{F_t}{h_a \cdot l_a \cdot z} \cdot \xi_r = \frac{2 \cdot C_A \cdot T}{d \cdot h_a \cdot l_a \cdot z} \cdot \xi_r \leq p_{doz} \quad (15)$$

- F_t - nominalna obimna sila na mestu spoja;
- T - nominalni obrtni moment, koji prenosi spoj;
- C_A - faktor radnih uslova;
- l_a - noseća dužina spoja: $l_a = l - b$ - za oblik A; $l_a = l$ - za oblik B;
- d - prečnik vratila;
- h_a - noseća visina spoja: $h_a = h_v$, odnosno $h_a = h_G$;

z - broj klinova: $z = 1$ - najčešće; $z = 2$ - izuzetno;
 ξ_r - faktor neravnomerne raspodele opterećenja
 $\xi_r = 1$ - za $z = 1$; $\xi_r = 1,3$ - za $z = 2$;
 p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak slabijeg materijala u spoju;

$$p_{doz} = R_e/S = R_{el}/(2...3) \text{ - za čelik}$$

$$p_{doz} = R_m/S = R_{m1}/(3...4) \text{ - za sivi liv.}$$

S obzirom da se noseće dodirne površine između klina i vratila kao i između klina i glavčine razlikuju, a i materijali delova u spoju mogu biti različiti, to je neophodna provera i za noseće dodirne površine vratilo-klin ($h_a = h_v$) i za noseće dodirne površine klin-glavčina ($h_a = h_G$). Klin je u radu napregnut i na smicanje, ali ukoliko je ispunjen uslov $p < p_{doz}$, provera smicanja nije neophodna.

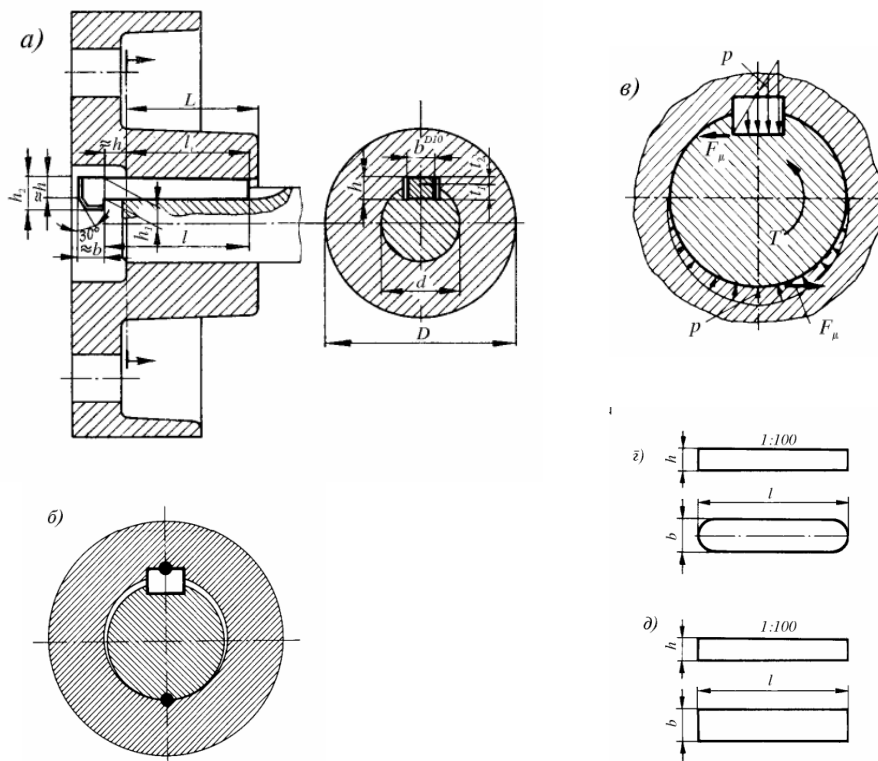
Za poznate materijale delova u spoju iz izraza (15) može da se odredi i potrebna dužina klina l . Zbog mogućnosti neravnomerne raspodele opterećenja duž spoja uzima se $l \leq 1,5 d$ (d - prečnik vratila).

Kod konstrukcionog izvođenja spoja klinom bez nagiba, dužina klina treba biti nešto manja od dužine glavčine (sl. 11,a). Spoj je potrebno dodatno osigurati protiv aksijalnog pomeranja spojenih delova.

Spojevi sa prednaponom

Klinovi sa nagibom

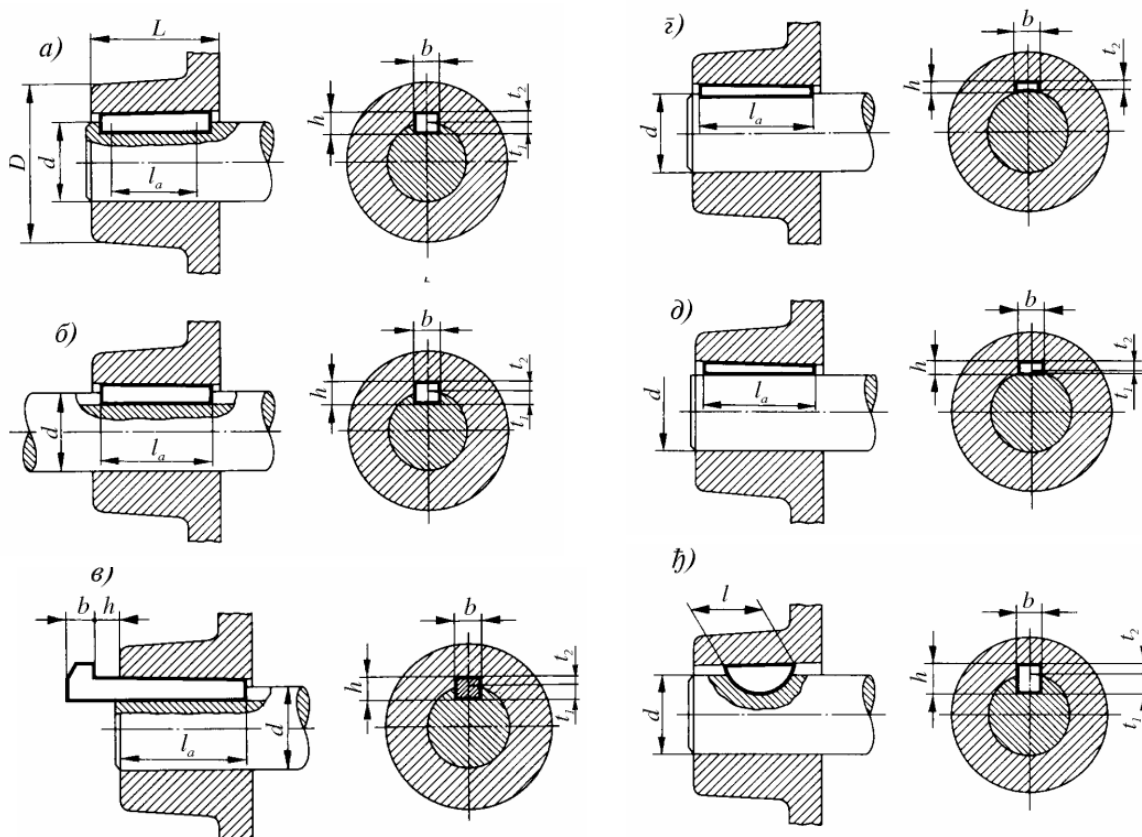
Klinovi sa nagibom imaju mali nagib (1:100) tako da se spoj izvodi sa prednaponom između vratila i glavčine. Spoj je konstrukciono tako izveden da se pri montaži aksijalnim utiskivanjem klina ostvaruje pritisak između glavčine i klina sa jedne strane (posredan dodir vratilo-glavčina) i cilindričnih površina vratila i glavčine (neposredan dodir). Prenos obrtnih momenata i aksijalnih sila ostvaruje se preko otpora klizanju koji nastaje na ovim površinama (sl. 14). Dakle noseće su gornja i donja površina klina, dok se bočne površine izvode sa malim zazorom u odnosu na žlebove na vratilu i glavčini (naleganje $D10/h9$). U slučaju da nosivost preko otpora klizanju bude prekoračena, opterećenje mogu da prenose i bočne površine (kinematička veza).



Sl. 14. Spojevi klinovima sa nagibom: a) spoj polutke spojnice sa vratilom; b) ekscentrični položaj glavčine i vratila; v) opterećenje spoja; g) klin oblika A; d) klin oblika B

Spojevi klinom sa nagibom mogu da prenose udarne naizmenično promenljive obrtne momente kod sporohodnih vratila i primenjuju se mahom u teškoj mašingradnji - kod bagera, kranova, poljoprivrednih mašina, presa itd. Negativna strana ovog spoja je ekscentrični položaj vratila i glavčine kao posledica deformacije spojenih delova u radijalnom pravcu (sl. 14,b).

Za izradu ovih klinova najčešće se koristi hladno valjani čelik C45. Oblik klinova sa nagibom odgovara obliku klinova bez nagiba (oblici A i B na sl. 14,g,d). Razlika je samo nagib 1:100 na spoljašnjoj površini.



Sl. 15. Standardna konstrukciona izvođenja spojeva klinovima sa nagibom: a) klin oblika A; b) klin oblika B; v) klin sa kukom; g) izdubljeni klin; d) pljosnati klin; đ) segmentni klin

Standardom su definisana sledeća konstrukciona rešenja spoja klinom sa nagibom.

1. Spojevi klinom oblika A (sl. 15,a - DIN 6886 odnosno SRPS M.C2.020). Čeone površine ovih klinova su zaobljene, pa se montaža ostvaruje postavljenjem klina u odgovarajući žleb na vratilu (ležeći klin) i aksijalnim utiskivanjem glavčine.

2. Spojevi klinom oblika B (sl. 15,b - DIN 6886 odnosno SRPS M.C2.020). Čeone površine ovih klinova su ravne, pa se montaža ostvaruje utiskivanjem klina. Primena kada je spoj pristupačan sa obe strane.

3. Spojevi klinom sa kukom (sl. 15,v - DIN 6887), primenjuje se kada je spoj pristupačan samo sa jedne strane, pa kuka služi i za montažu i za demontažu.

4. Spojevi izdubljenim klinom (sl. 15,g - DIN 6881), gde je donja površina klina cilindrično obrađena saglasno cilindričnom obliku vratila. Na taj način spoj se izvodi bez žleba na vratilu, pa je moguća montaža delova na bilo kom mestu glatkog vratila (čista dinamička veza). Postoji i konstrukciono izvođenje spoja izdubljenim klinom sa kukom - DIN 6889.

5. Spojevi pljosnatim klinom (sl. 15,*d* - DIN 6883), gde je umesto žleba na mestu spoja vratilo tetivno poravnato (pretežno dinamička veza). Postoji i konstrukciono izvođenje spoja pljosnatim klinom sa kukom - DIN 6884.

6. Spojevi segmentnim klinom (sl. 15,*d* - DIN 6888), gde se nagib izrađuje na žlebu glavčine, a montaža izvodi aksijalnim utiskivanjem glavčine. Žleb u vratilu izaziva visoku koncentraciju napona i znatno slabi vratilo, pa ovi spojevi imaju malu nosivost.

Tačan proračun spojeva klinom sa nagibom nije moguć zbog niza uticajnih faktora koji se ne mogu dovoljno tačno odrediti.

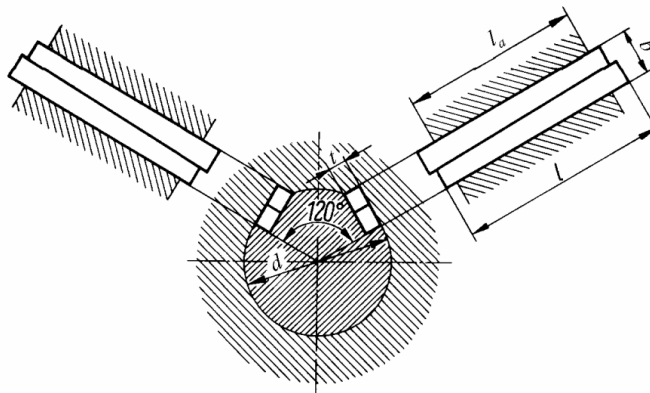
Na sl. 15 prikazani su konstrukcioni oblici spojeva klinom sa nagibom sa osnovnim merama. U toku montaže klinovi se lako naulje, čime se smanjuje mogućnost oštećenja i korozije. Naleganje vratila i glavčine kod ovih spojeva treba biti neizvesno ili čvrsto sa malim preklopom, na primer *H7/k6*, *H7/m6*, *H7/n6*, odnosno *N7/h6*, *N7/h8*.

Tangentni klinovi

Nedostatak spojeva klinovima sa nagibom je što su delovi u spoju maksimalno opterećeni već tokom montaže, dakle nezavisno od obrtnog momenta koji prenose. Kod spojeva tangentnim klinovima noseće dodirne površine su približno upravne na pravac delovanja obimne sile. Klinovi se ugrađuju u parovima (sl. 16) a površine njihovog međusobnog dodira imaju nagib 1:60 do 1:100. U toku montaže na dodirnim površinama spoja ostvaruje se mali površinski pritisak radi obezbeđenja samokočenja.

Jedan par klinova prenosi obrtni moment samo u jednom smeru, pa se za prenos naizmenično promenljivih obrtnih momenata ugrađuje dva para tangentnih klinova pod uglom od 120° . Pri prenosu obrtnih momenata na dodirnim površinama nastaju pritisci koji su proporcionalni obimnoj sili na mestu spoja.

Spojevi tangentnim klinovima imaju visoku nosivost i sigurnost u radu. Nedostatak je što je za jedan spoj neophodna ugradnja 4 klina, za čiju montažu je potreban pristup sa obe strane. Primenjuje se za jako opterećene spojeve velikih dimenzija.



Sl. 16. Spoj tangentnim klinom

Dimenzije tangentnih klinova propisane su standardom DIN 271 i 268, odnosno SRPS M.C2.040 i 041. Spojeve sa mirnim opterećenjem obuhvata DIN 271 odnosno SRPS M.C2.040. Za spojeve tangentnim klinovima za prenošenje udarnih i naizmenično promenljivih opterećenja DIN 268, odnosno SRPS M.C2.041 predviđa nešto veće dimenzije.

Spojevi za prenošenje aksijalnih sila

Prenošenje aksijalnih sila između vratila i elemenata moguće je preko otpora klizanju, oblikom vratila ili preko posebnih elemenata. O prenošenju obrtnih momenata i aksijalnih sila preko otpora klizanju bilo je reči u tačkama 2.3.2 i 2.3.4.1. Veće aksijalne sile najjednostavnije se prenose preko radijalnih površina - naslona na mestima promene preseka vratila (vidi glavu 4). Ovdje će biti reči o prenošenju aksijalnih sila pomoću posebnih elemenata kao što su elastični prstenovi, neelastični prstenovi, rascepi itd.

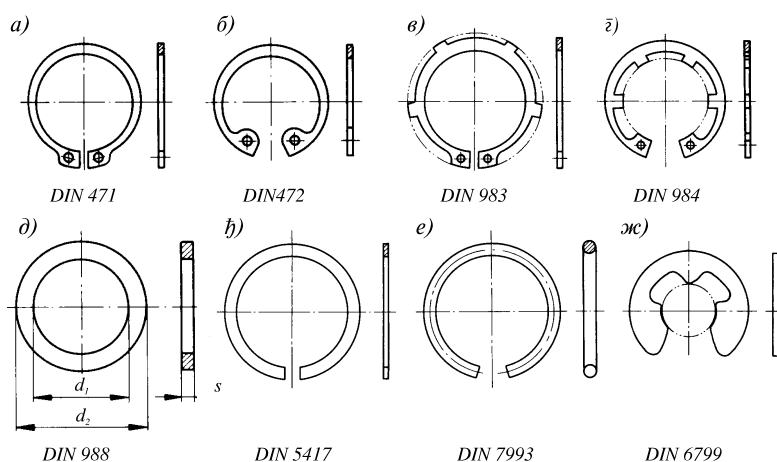
Elastični prstenovi

Ugrađuju se u kružne žlebove na vratilima ili otvorima i služe za osiguranje delova od aksijalnog pomeranja i prenošenje aksijalnih sila. Prstenovi se pri montaži elastično deformišu i aksijalnim pomeranjem lako ugrađuju u odgovarajući žleb. Konstrukciono je definisano i standardima predviđeno više oblika elastičnih prstenova (sl. 17).

Elastični uskočnik pored osiguranja od aksijalnog pomeranja može da prenese i znatne aksijalne sile. Spoljašnji elastični uskočnik (sl. 17,*a*) ugrađuje se u žlebove vratila i definisan je standardom DIN 471 odnosno SRPS M.C2.401. Unutrašnji elastični uskočnik (sl. 17,*b*) ugrađuje se u žlebove otvora i definisan je standardom DIN 472 odnosno SRPS M.C2.400. Uskočnici se izrađuju od čelika za opruge, imaju malu debljinu a oblik im je tako izveden da se pri ugradnji (specijalnim kleštima) elastično deformišu i ostvaruju radijalni pritisak u žlebu. Zbog velike koncentracije napona koji izazivaju poprečni preseci na vratilu, elastični uskočnici se ugrađuju na krajevima vratila i osovina.

U primeni su i nazubljeni elastični uskočnici (DIN 983 i 984) čime je elastična oslonja površina povećana (sl. 17,*v,g*).

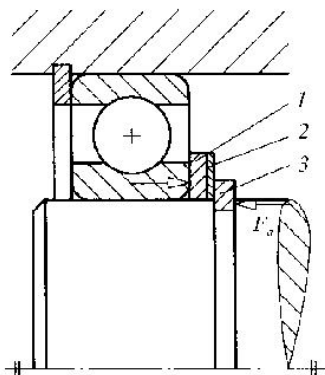
Za aksijalno učvršćivanje delova sa velikim zakošenjem ili zaobljenjem primenjuje se puni elastični prsten (sl. 17,*d* - DIN 988). Prsten je izrađen od čelika za opruge i ugrađuje se na glatko vratilo aksijalnim utiskivanjem. Primenjuje se i kao distantni prsten (sl. 18).



Sl. 17. Elastični prstenovi: a) spoljašnji elastični uskočnik; b) unutrašnji elastični uskočnik; v,g) nazubljeni elastični uskočnici; d) puni elastični prsten; d,e) elastični prstenovi - osigurači; z) elastični potkovičasti osigurač

Za osiguranje položaja i prenos manjih aksijalnih sila u primeni su elastični prstenovi - osigurači, koji mogu biti pravougaonog (sl. 17,*d* - DIN 5417) ili kružnog (sl. 17,*e* - DIN 7993) poprečnog preseka.

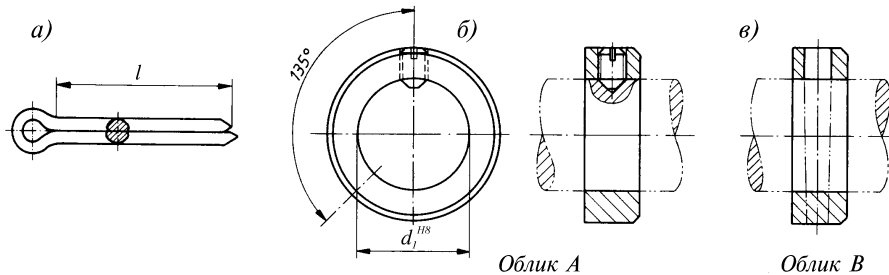
Elastični potkovičasti osigurač (sl. 17,*z* - DIN 6799) koristi se kod malih prečnika vratila kod aparata i u preciznoj industriji. Ugrađuje se radijalno neposredno u odgovarajući žleb na vratilu i ima relativno veliku oslonja površinu.



Sl. 18. Primer ugradnje punog elastičnog prstena (1), distantnog prstena (2) i uskočnika (3) kod uležištenja vratila

Rascepke

Žica od mekog konstrukcionog čelika (ređe od bakra, CuZn- ili Al-legura) odgovarajuće savijena (sl. 19,*a* - DIN 94) postavlja se u odgovarajući otvor i služi za aksijalno osiguranje. Ovakav osigurač naziva se rascepka i najčešće se primenjuje kod zglobnih veza osovinicom (sl. 22.1,*a*) i za osiguranje zavrtanjskih veza od samoodvrtanja. Pri ugradnji slobodni krajevi se savijaju i sprečava ispadanje rascepke. U slučaju da se koristi za osiguranje od samoodvrtanja zavrtneja krunastom navrtkom (sl. 21.48,*a*) posle demontaže uvek se ugrađuje nova rascepka.



Sl. 19. a) Rascepka; б) Neelastični prsten oblika A; в) Neelastični prsten oblika B;

Neelastični prstenovi

Neelastični (kruti) prstenovi služe za ograničenje aksijalnih zazora vratila i osovinica ili za bočno vođenje delova na vratilu. Njihov aksijalni položaj na vratilu osiguran je pomoću navojne čivije (sl. 19,*b* - oblik A - DIN 705), a u slučaju da prenose velike aksijalne sile učvršćuju se na vratilu preko konusne čivije (sl. 19,*v* - oblik B - DIN 705).