

dinamička čvrstoća i otpornost osnaca prema izlizavanju u ležajima. U posebnim slučajevima osovine i vratila mogu se napraviti od čeličnog lijeva ili od modificiranog lijevanog željeza, koje se odlikuje visokom čvrstoćom i bolje prigušuje vibracije nego čelični materijal.

Proračun osovina i vratila. Osnaci osovina proračunavaju se na savijanje, a kontroliraju na površinski pritisak i dopušteno ugrijavanje. Za izračunavanje promjera osnaca služi formula

$$d = \sqrt{\frac{5F\varphi}{\sigma_{s\text{ dop}}}},$$

gdje je F maksimalno radijalno opterećenje, $\sigma_{s\text{ dop}}$ dopušteno naprezanje materijala na savijanje, a $\varphi = \frac{l}{d}$ tzv. karakteristika osnaca, gdje je l njegova dužina.

Površinski pritisak na osnac kontrolira se s pomoću formule

$$p = \frac{F}{l d} \leq p_{\text{dop}},$$

gdje je p_{dop} dozvoljeni površinski pritisak ovisan o materijalu osnaca i blazinice ležaja.

Ugrijavanje osnaca kontrolira se s pomoću formule

$$p v \leq (p v)_{\text{dop}},$$

gdje je $v = \pi d n$ obodna brzina osnaca, a n broj okretaja osovine osnaca. Umnožak $p v$ je tzv. karakteristika ugrijavanja koja zavisi od materijala čepa i blazinice ležaja i od vrste stroja.

Promjer osovine d izračunava se iz

$$\sigma_{s\text{ dop}} = \frac{M_{\text{max}}}{W},$$

gdje je σ_{dop} dopušteno naprezanje na savijanje, M_{max} maksimalni moment savijanja, a $W = \frac{d^3}{32} \approx 0,1 d^3$ aksijalni moment otpora za kružni presjek.

Vratila proračunavaju se samo na torziju ili na kombinirano istovremeno opterećenje od torzije i savijanja. Za izračunavanje promjera vratila opterećenog samo na torziju mjerodavna je formula

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 M_t}{\pi \tau_{t\text{ dop}}}} \approx \sqrt[3]{\frac{5 M_t}{\tau_{t\text{ dop}}}},$$

gdje je M_t moment vrtnje (torzije), a $\tau_{t\text{ dop}}$ dozvoljeno naprezanje na torziju.

Pri kombiniranom opterećenju (npr. kad se radi o dugim transmisijskim vratilima) promjer vratila izračunava se s pomoću formule

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10 M_1}{\sigma_{s\text{ dop}}}},$$

gdje je $\sigma_{s\text{ dop}}$ ima već navedeno značenje, a M_1 je tzv. idealni (ili imaginarni) moment koji se smatra momentom savijanja na mjestu djelovanja i koji se prema Saint-Venantu sastavlja od momenta savijanja M_s i momenta torzije M_t u izraz

$$M_1 = 0,35 M_s + 0,65 M_s^2 + (a M_t)^2,$$

gdje je $a = \frac{\sigma_{s\text{ dop}}}{1,3 \tau_{t\text{ dop}}}$ Bachov koeficijent korekcije. Prema novijoj teoriji nauke o čvrstoći imaginarno ili privedeno naprezanje na savijanje kod vratila iznosi

$$\sigma_1 = \sqrt{1 + 0,75 (\alpha_0 M_t / M_s)^2},$$

gdje je $\alpha_0 = \frac{\sigma_{s\text{ dop}}}{1,73 \tau_{t\text{ dop}}}$. Iz ove formule supstitucijom i transformacijom dolazi se do drugog izraza za imaginarni moment savijanja M_1 s pomoću kojeg se nađe potreban promjer vratila d_1 kao i u prethodnom slučaju. Prema novijoj teoriji dobivaju se nešto manji promjeri vratila.

Pojam kritičnog broja okretaja osovine i vratila. Uslijed opterećenja vlastitom težinom i težinom na njima učvršćenih dijelova rotirajuće osovine i vratila titraju u okomitoj ravnini. Pri tome može nastupiti mehanička rezonancija i uslijed nje toliko povećanje amplitude titranja da može doći do loma osovine.

Mehanička rezonancija nastaje kod tzv. kritičnog broja okretaja n_k , kod kojega se frekvencija promjene vanjskih sila podudara s frekvencijom vlastitog titranja sustava osovine (vratila) i na njoj učvršćenih dijelova. Osim toga mehanička rezonancija može nastupiti i kad je frekvencija promjene vanjskih sila jednaka višekratniku frekvencije vlastitog titranja tog sustava.

Kritični broj okretaja n_k , odnosno kritična kutna brzina ω_k , može se u najjednostavnijem slučaju, smatrajući osovinu, odnosno vratilo nosačem koji leži na dva uporišta, odrediti s pomoću njenog progiba f izazvanog djelovanjem centrifugalne sile.

Progib f povećava se s kutnom brzinom, odnosno s brojem okretaja, a kritična je ona kutna brzina ω_k pri kojoj se on povećava neograničeno. Kritični broj okretaja u minuti kao funkcija progiba određen je izrazom

$$n_k \approx 300 K \sqrt{\frac{1}{f}},$$

gdje je vrijednost koeficijenta K između 0,9 i 1,3, već prema načinu uležištenja osovine (vratila). Prema tome je broj okretaja osovine to veći, što je progib manji.

Približavanje kritičnom broju okretaja ispoljava se u jakim vibracijama vratila, te pri dužem radu pod takvim uvjetima lom je neizbježiv.

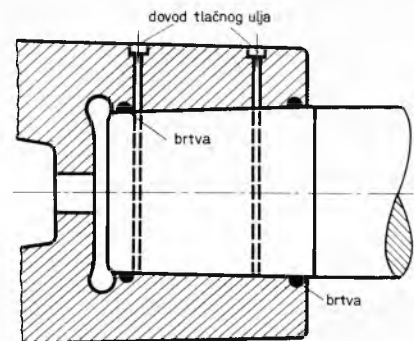
Đ. Taubkin

SPOJEVI S GLAVINAMA

Spojevi s glavinama, koji služe za prijenos snage, odnosno momenta vrtnja s glavine na vratilo ili obrnuto, u strojarstvu su vrlo česti i izvode se na različite načine, ali ipak imaju dosta zajedničkog. To je razlog zašto se u proučavanju elemenata strojeva ovi spojevi izdvajaju kao posebno poglavlje. Prema načinu na koji djeluju, ti se spojevi mogu podijeliti na naponske spojeve (one u kojima se spoj opire rješavanju otporom trenja), spojeve oblikom (one u kojima se spoj opire razrješavanju oblikom dijelova), prednapregnute spojeve oblikom (one u kojima se spoj opire razrješavanju i otporom trenja i oblikom dijelova) i nerazrješive spojeve. O nerazrješivim (tvrdno zalemljenim i zavarenim) spojevima s glavinama v. *Zavarivanje i lemljenje*.

Inače se ti spojevi češće dijele prema tome da li su, i kakvi su posebni elementi upotrijebljeni za spajanje. Takvim grupiranjem na temelju dijelova spoja može se onda čitavo područje spojeva s glavinama podijeliti na stezne spojeve s cilindričnim i stožastim dosjednim površinama, spojeve steznim glavinama, spojeve s pomoću steznih elemenata, spojeve profiliranim vratilima i provrtima glavina i spojeva klinovima i perima. Iako manje načelna, ova podjela upotrijebljena je u ovom poglavlju zbog jednostavnosti pregleda, s time što su spojevi s klinovima i perima izdvojeni i opisani u posebnom poglavlju. To je učinjeno zbog toga što se pod klinovima obično razumijevaju i elementi (poprečni klinovi, v. dalje) koji se upotrebljavaju za druge namjene.

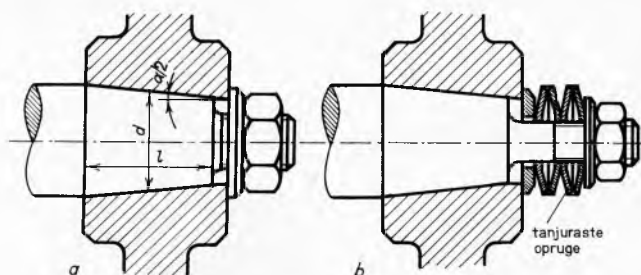
Stezni spojevi s cilindričnim i stožastim dosjednim površinama. Nedostaci opisanih spojeva glavina s vratilima (u poglavlju Stezni spojevi), inače sposobnih za preuzimanje velikih opterećenja i otpornih prema potresima i trzajima, jesu smanjenje trajne čvrstoće i izdržljivosti dijelova i teškoće pri njihovom rastavljanju. Za uklanjanje tih nedostataka može se primijeniti izvedba s blagim konicitetom dosjednih površina, prikazana na sl. 133, koja omogućava lako rastavljanje po tzv. postupku s uljem pod tlakom (»uljnom injekcijom«) izrađenom u švedskoj tvornici valjnih ležaja SKF. Pri tome se preko kanala u glavini i utora na



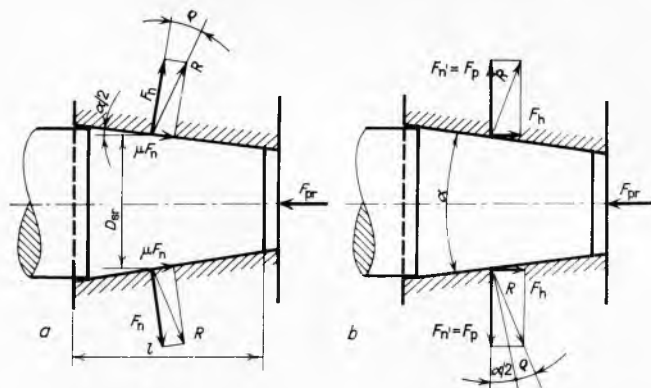
Sl. 133. Stezni spoj s glavinom rastavljiv tlačnim uljem

površini njenog provrta dovodi na dosjednu površinu spoja mala količina ulja pod visokim tlakom, koji uzrokuje deformaciju glavine potrebnu za rastavljanje. Brtve na krajevima dosjedne površine takvog spoja služe za sprečavanje istjecanja ulja. Tlak ulja mora biti manji od onoga koji bi uzrokovao naprezanje materijala iznad granice razvlačenja σ_R .

Lako rastavljivi stezni spojevi glavina s vratilima mogu se izvesti i s pomoću stožastih dosjednih površina s jačim konicitetom, kao npr. na sl. 134. Potrebna uzdužna sila spoja najčešće



Sl. 134. Stezni spoj s glavinom izveden koničnim oblikovanjem kraja vratila: a s vijčanim nastavkom, b s vijčanim nastavkom i tanjurastim oprugama



Sl. 135. Sile pri spajanju glavine s vratilima izvedenim koničnim oblikovanjem kraja vratila. a Djelovanje sila i njihovo rastavljanje, b rastavljanje rezultante djelujućih sila za proračun

se ostvaruje vijkom (sl. 134 a). Djelovanje sila koje se pojavljuju pri stezanju tih spojeva prikazano je na sl. 135 a. Tu su stezanjem silom F_{pr} uzrokovani tlak p i time trenje na dosjednim površinama prikazani normalnim silama F_n , odnosno silama μF_n , koje imaju hvatišta na obodu srednjeg presjeka dosjednih površina promjera D_{sr} .

Rastavljanjem rezultanti R sila F_n i μF_n na sl. 135 b na njihove komponente u uzdužnom i poprečnom smjeru s obzirom na os spoja F_n , odnosno F'_n , koje se uzimaju u proračun, dobivaju se sile $F_p = F'_n$ koje nastoje raskinuti glavinu, i stezna sila $F_p = 2F_n$. Odatle se može izračunati da je

$$F_p = \frac{F_{pr}}{2 \tan\left(\varrho + \frac{\alpha}{2}\right)},$$

gdje je ϱ kut trenja, a α vršni kut krnjega stošca dosjednih površina. Kako se sile μF_n suprotstavljaju razrješavanju spoja, onda zato, sili F_{pr} suprotna, potrebna sila iznosi

$$F = 2F_p \tan\left(\varrho - \frac{\alpha}{2}\right),$$

a to znači da je spoj samokočan, ako je $\varrho > \frac{\alpha}{2}$. Sila F ima negativnu vrijednost, što znači da spoj oslabi čim prestane djelovati sila F_{pr} .

Klizanje dijelova jednoga po drugome u takvom spoju može se spriječiti i elastičnim stezanjem prema izvedbi npr. na sl. 134 b, na kojoj tanjuraste opruge djeluju slično kako je opisano kod elastičnog osiguranja vijčanih spojeva.

Ako se konični spojevi ponašaju kao i odgovarajući im spojevi s cilindričnim dosjednim površinama s presjekom promjera D_{sr} , pri čemu je specifični tlak u spoju

$$p = \frac{F_p}{D_{sr}l},$$

gdje je l dužina dosjedanja, njihov proračun se može izvesti kao

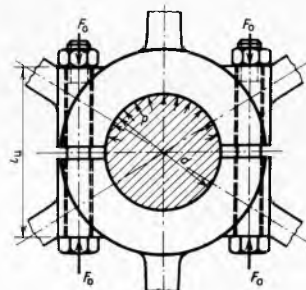
i proračun steznih spojeva glavina s vratilima u prethodnom poglavlju. Isto tako ako se uzdužna sila F_p spoja stvara stezanjem vijkom, izračunavanje njene veličine izvodi se kao kod vijaka.

Kako radijalno prednaprezanje u tim spojevima opterećuje glavinu na vlak, mora se uz to kontrolirati i njegova veličina na najopasnijem presjeku, da ne bi prekoračila dopuštenu vrijednost. Budući da je presjek glavine, opterećen polovicom uzdužne sile, to se čini s pomoću formule

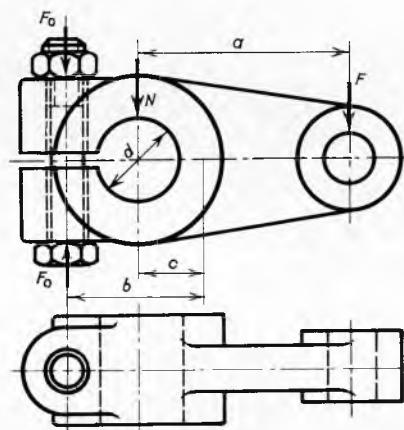
$$\sigma_v = \frac{0,5 F_p}{al} \leq \sigma_{v \text{ dop}}$$

gdje je a debljina stijenke na tom presjeku, a l dužina dosjedanja. Ostala naprezanja koja se javljaju u tim spojevima mogu se zanemariti u proračunu, jer su prema vlačnom neznatna.

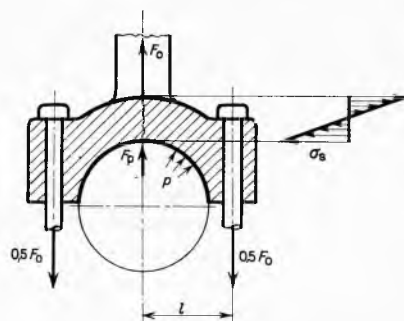
Spojevi steznim glavinama razlikuju se od već opisanih steznih spojeva s punim glavinama u tome što su im glavine dvodijelne (sl. 136), ili s prorezom tzv. elastične (sl. 137), pa se njihovo spajanje postizava vijcima, koji stvaraju potrebni pritisak na njihovim dosjednim površinama s vratilom. Taj pritisak mora biti



Sl. 136. Primjer spoja remenice dvodijelnom steznom glavom



Sl. 137. Osno koljeno s poluprorezanom elastičnom glavom



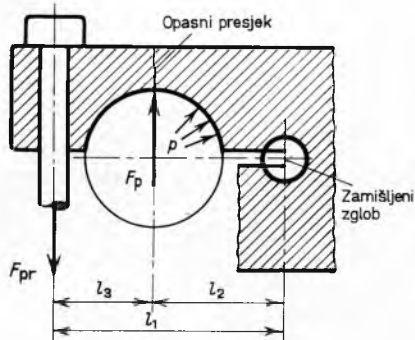
Sl. 138. Kontrola naprezanja u steznoj glavini dvodijelnog rotacijskog elementa (remenice, zupčanika ili sl.)

toliko velik, da bi stvoreno trenje između dosjedne površine vratila i glavine omogućilo sigurni prijenos momenta okretanja od rotacijskog elementa na vratilo ili obrnuto, jer glavina u montira-

nom stanju čini sa svojim rotacijskim elementima jednu cjelinu (v. poglavlje o remenskom i zupčanom prijenosu). Dvodijelne glavine izrađuju se radi lakše montaže na vratila, a obično služe za spajanje dvodijelnih remenica, užnica, zupčanika i zamašnjaka s vratilima. Pojave u tim spojevima načelno su iste kao i u steznim spojevima opisanim u prethodnom poglavlju.

Da bi u tim steznim spojevima ukupna stezna sila osigurala silu otpora trenja F_{k0} dovoljno veliku da spoj može sigurno prenositi moment okretanja, uvodi se također u proračun koeficijent sigurnosti $S = \frac{F_{k0}}{F_0} = 1,2 \dots 1,8$. Sila F_{k0} može se izračunati kao i kod steznih spojeva (str. 243) kad se u navedene izraze uvvrste odgovarajuće vrijednosti.

Proračun tih spojeva obuhvaća i kontrolu naprezanja glavine na savijanje (sl. 138). To se izvodi prema poznatim postavkama



Sl. 139. Uz proračun spoja s prorezanom steznom glavinom

nauke o čvrstoći, promatrajući glavinu kao nosač s dva uporišta, opterećen momentom savijanja što ga uzrokuju polovice sile F_0 na krakovima dužine l . Dijagram rasporeda naprezanja σ , u središnjem presjeku glavine prikazan je također na sl. 138.

Spojevi s elastičnim glavinama. Pojave u ovim spojevima s kojima se pristupa njihovom proračunu prikazane su na sl. 139. Vidi se da se pri tome zamišlja kao da postoji zglob oko kojega se pri stezanju mogu zakretati dijelovi glavine s jedne i s druge strane proreza. U tom slučaju prethodna sila F_p ne zavisi samo od stezne sile, već i od elastičnosti glavine, tj. od dužine njenog proreza. Zbog toga je moguć samo približan proračun. Pri tome se prethodna sila izračunava s pomoću jednadžbe momenata s obzirom na zamišljeni zglob, kao okretište:

$$F_p = \frac{z F_{pr} l_1}{l_2}$$

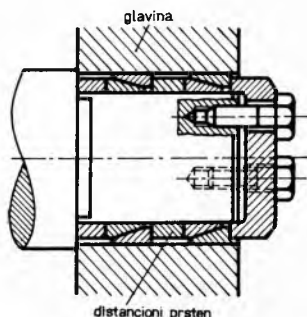
gdje je z broj vijaka, a značenje ostalih oznaka već je spomenuto.

Koeficijent sigurnosti za djelovanje spoja uzima se $S = 2$. Inače se postupa kako je već objašnjeno.

Naprezanje glavine na savijanje na opasnom presjeku ne smije prekoračiti dopuštenu veličinu $\sigma_{s, dop}$, čija se vrijednost uzima iz tablica u priručnicima u zavisnosti od materijala glavine.

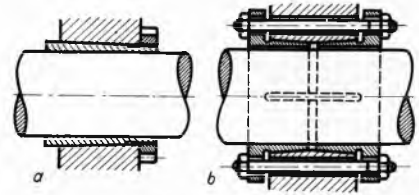
Spojevi s glavinama s pomoću steznih elemenata. Elementi koji se upotrebljavaju za tu svrhu jesu prstenaste opruge, tolerancijski prstenovi, prstenaste elastične ploče i tlačne ljuske.

Spojevi s glavinama s pomoću prstenastih opruga. Prstenaste opruge za tu svrhu upotrebljavaju se u parovima, kao što je to bilo prikazano u odgovarajućem poglavlju, od kojih svaki čini jedan naponski element. Izrađuju se od specijalnog čelika. Izvedba spoja s tim naponskim elementima prikazana je primjerom na sl. 140. Naponski elementi odvojeni su distancijskim prstenom.



Sl. 140. Spoj glavine s krajem vratila s pomoću dva para prstenastih opruga

Slične funkcije obavljaju u radialnom smjeru prstenaste opruge i u tom slučaju, tj. unutarnji prstenovi uslijed aksijalne sile pritiskuju vanjske, a ti prenose taj pritisak preko dosjednih površina na glavini, stvarajući između vratila i glavine trenje, potrebno za prijenos momenta okretanja. Potreban aksijalni pritisak na prstenaste opruge (tzv. steznu silu) ostvaruju stezni vijci preko svoje podloge.

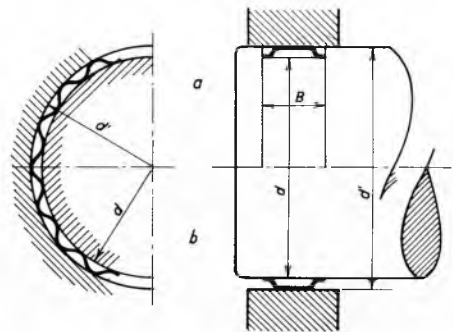


Sl. 141. Spojevi s glavinama pomoću stožastih ljuski: a s pomoću prorezane ljuske i matice, b pomoću dviju prorezanih ljuski i vijaka

Prednosti spojeva s pomoću naponskih elemenata od prstenastih opruga jesu u tome što ti elementi ne oslabljuju vratilo i što se lako sastavljaju i rastavljaju. To ih čini katkada prikladnim za učvršćivanje zamašnjaka, osnih koljena, spojka i drugih elemenata na vratilima. Pri tome je za stezanje spojeva s vratilima promjera do 30 mm dovoljno jedan vijak i matica. Za veće promjere vratila potrebno ih je više.

U tu skupinu spojeva ubrajaju se i spojevi s pomoću bočno prorezanih stožastih ljusaka (sl. 141 a), koji se upotrebljavaju onda, kad treba glavinu učvrstiti među krajevima vratila. Uvlačenje tih ljusaka u provrt glavine izvodi se s pomoću matice s finim navojem. Pri većim dužinama glavine upotrebljavaju se dvije ljuske (sl. 141 b). Stezanje tog spoja izvodi se s pomoću vijaka.

Spojevi s glavinama s pomoću tolerancijskih prstenova. Tolerancijski prstenovi za ove spojeve prikazani su na sl. 142. To su elementi s valovitom površinom njihovog obodnog ispupčenja i, da bi se mogli lako ugraditi, ravnim i glatkim rubovima. Izrađuju se od čelika za opruge.



Sl. 142. Tolerancijski prstenovi. a Ugradnja s centriranjem, b slobodna ugradnja

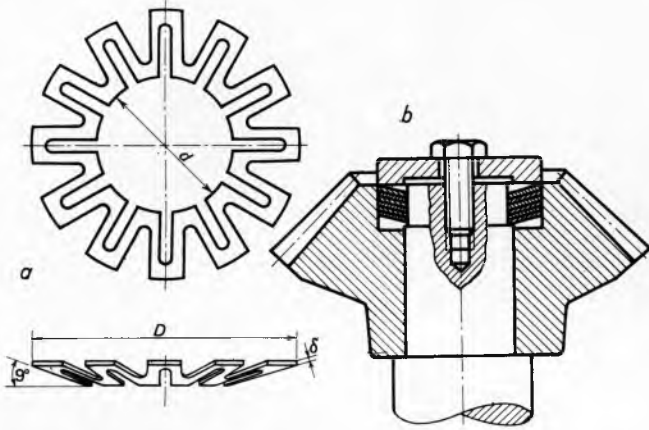
Za spajanje s tim prstenovima izrađuju se utori u provrtu glavine (donja polovica sl. 142), odnosno u vratilu (gornja polovica sl. 142). Valovi prstenova širine B djeluju uslijed svojih elastičnih deformacija kao opruge, stvarajući radialni pritisak, koji uzrokuje trenje između glavine i vratila. To trenje omogućuje prijenos momenta okretanja od vratila na glavinu i dalje na element kojemu ona pripada, ili obratno.

Takvim djelovanjem tolerancijskih prstenova nastali spojevi mogu ne samo prenositi momente okretanja, nego i poslužiti za kompenzaciju toplinskih dilatacija i kontrakcija, netočnosti mjera i oblika (ekscentriciteta) te za preuzimanje i prigušivanje udarnih opterećenja.

Spojevi s pomoću zvjezdastih, prstenastih elastičnih ploča. Ploče za te spojeve prikazane su na sl. 143 a. Konične su, a njihov prsten ima radialne proreze naizmjenično razmještene po vanjskom i unutrašnjem obodu te su slične tanjurastim oprugama. Izrađuju se od pernog čelika pa se poslije kale. Sve ih to čini vrlo elastičnim i time prikladnim za izvedbu rastavljivih spojeva sposobnih

za prenošenje momenata okretanja. Broj ploča u spoju nije nikad veći od deset.

Jedan primjer spoja s tim pločama prikazan je na sl. 143 b. Među tim pločama i provrtima u glavinama za njihov smještaj postoji prijeklop, a prema vratilu postoji zračnost. Ti spojevi izvođe se ugradnjom ploča u glavinu, pri čemu nastaje prednapon, i zatim uvlačenjem vratila bez daljeg napinjanja. Zračnost između vratila i ploča iščezava pri stezanju spoja (obično vijcima). Daljim stezanjem spoja nastaje radijalno opterećenje glavine i s njime već opisane pojave, koje održavaju spoj stvorenim trenjem.

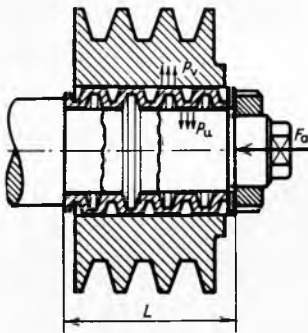


Sl. 143. Spojevi s glavinama pomoću zvjezdaste elastične prstenaste ploče. a Spojevi s glavinama, b spoj stožastog zupčanika s vratilom

Dimenzije ploča, njihovi maksimalni prenosivi momenti okretanja i aksijalne sile potrebne za stezanje spojeva s pomoću vijaka nalaze se u tablicama proizvođača.

Spojevi s glavinama s pomoću tlačnih tuljaka. Tlačni (Spieth-) tuljci za te spojeve su elastični stezni elementi, koji se izrađuju od pernih čelika pa se poslije izrade kale. Postoje njihove jednočlankaste i višečlankaste izvedbe.

Jedan od načina spajanja s pomoću četveročlankastog Spieth-tuljka prikazan je na sl. 144. Pri tome se tuljak montira između



Sl. 144. Spoj s glavinom pomoću četveročlankastog tuljka Spieth

glavine i vratila. Zato između njegovih i dosjednih površina dijelova postoji zračnost. Ona nestaje deformacijom tuljka pod utjecajem aksijalne sile F_a pri stezanju spoja. Uslijed te deformacije na dosjednim površinama spoja nastaju pritisci p_v i p_u s pomoću kojih u spoju stvoreno trenje omogućuje prijenos momenata okretanja, odnosno snage od vratila ili na vratilo.

Podaci potrebni za proračun tih spojeva kao i dimenzije tuljaka uzimaju se iz tablica proizvođača, a mjerodavan je i faktor sigurnosti protiv klizanja, kao i za spojeve s pomoću prstenastih opruga i tolerancijskih prstenova.

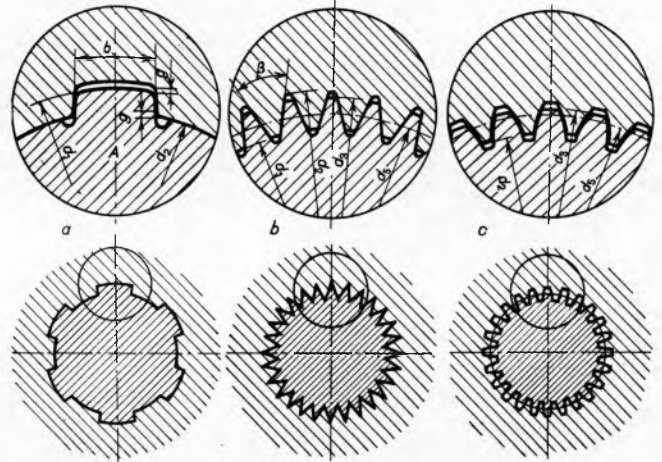
Spojevi s profiliranim vratilima i odgovarajućim provrtima u glavinama. U toj skupini spojeva s glavinama postoje stanovite načelne razlike među spojevima izvedenim s ožljebljenjem i profilima poligonalnog oblika, pa se oni promatraju odvojeno.

Spojevi s ožljebljenim vratilima i provrtima u glavinama. Profili tih vratila na mjestu spoja i provrta glavina (sl. 145 a, b, c) mogu

imati izdanke u obliku klinova (klinovita vratila), oštih zubi (zvjezdasta vratila) i zubi s evolventnim profilom (klinasta vratila s evolventnim profilom). Svaki od tih izdanaka djeluje onda kao povodno pero (klin bez nagiba). Prednost je tih spojeva, u tome, s obzirom na spojeve s povodnim perima, što su im opterećenja ravnomjerno raspoređena po čitavoj obodnoj površini. Zbog toga su oni prikladni za prijenos velikih i promjenljivih momenata okretanja i velikih udarnih opterećenja.

Ožljebljena vratila i glavine prikazani su presjekom spoja na sl. 145 a. Broj žljebova, odnosno klinova tih spojeva mora biti paran, a njihove bočne površine međusobno strogo paralelne.

Jedna od prednosti spojeva s takvim vratilima i glavinama jest što pružaju mogućnost dobrog centriranja. Zbog toga su prikladni za čvrste i uzdužno pokretljive spojeve visokoučinskih prijenosnika i prijenosnika alatnih strojeva.

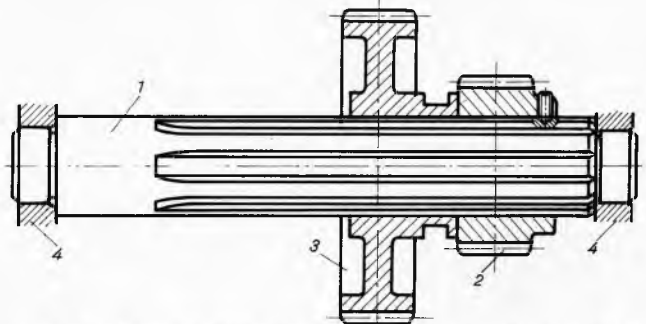


Sl. 145. Poprečni presjeci nekih spojeva s nazubljenim vratilima i provrtima glavina: a spoj s klinastim, b zvjezdastim, c evolventnim profilom vratila i provrta glavine

U takvim spojevima s glavinom, nepomično učvršćenom na vratilu, dosjed mora biti čvrst ili priležan. Kod spojeva s glavinama aksijalno pomičnim po vratilu, vratilo se površinski kali. Primjer čvrstog i aksijalno pomičnog spoja s ožljebljenim vratilima i glavinama prikazan je na sl. 146.

Prednosti su ožljebljenja sa zvjezdastim ili evolventnim profilom (sl. 145 b, c) u tome što manje slabe vratila i glavine i što omogućuju zakretanje glavine pri montaži od zuba do zuba.

Za proračun ožljebljenih vratila prema poznatim postavkama nauke o čvrstoći mjerodavan je njihov najmanji, tj. najslabiji nosivi promjer d_0 , između najnižih točaka zaobljenja. Potrebna dužina spoja (glavine) l određuje se iz uvjeta, da bočni specifični pritisak na izdancima, određen opterećenjem, ne prekorači dopušteni. Zanemaruje se opterećenje izdanaka na smik i savijanje.



Sl. 146. Spoj ožljebljenog vratila s aksijalno pokretnim i nepokretnim zupčanicom. 1 Ožljebljeno vratilo, 2 aksijalno nepomičan zupčanik, 3 aksijalno pomičan zupčanik, 4 ležajevi

Proračun spoja kontrolira se s pomoću koeficijenta sigurnosti S . Već prema vrsti materijala dijelova njegove su vrijednosti od 1,2...1,6 pri jednosmjernom, odnosno od 2...3 pri promjenljivom

smjeru okretanja. Prema tome

$$S = \frac{M_{t\max}}{M_0}$$

jest odnos najvećeg torzijskog momenta u pogonu prema normalnom momentu okretanja.

Tom principu proračuna spoja sličan je i proračun spojeva sa zvijezdastim i evolventnim profilima izdanaka.

Spojevi s poligonalno profiliranim vratilima i provrtima glavina. Najčešći oblici profiliranih završetaka vratila prikazani su na sl. 174.

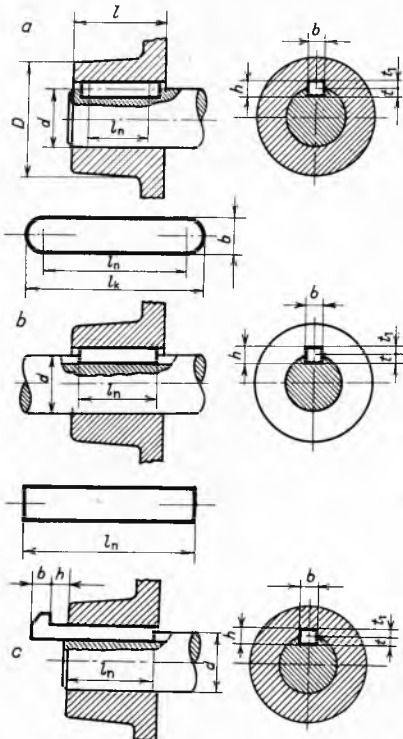
Nagib zakošenih dosjednih površina tih spojeva s trokutastim profilom je 1 : 10.

Od spojeva s nazubljenim profilima razlikuju se tri profilirani spojevi nejednoličnom raspodjelom opterećenja i time nejednoličnom mogućnošću prijenosa momenta okretanja. Zbog toga što nemaju izdanaka, u njima otpada djelovanje ureza, pa su prikladniji za dinamička opterećenja.

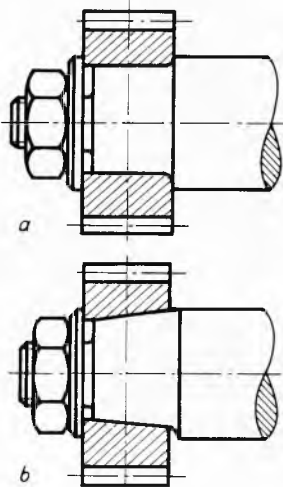
Naročite prednosti spojeva s trokutastim profilima jesu što su sigurni i točni, što osiguravaju dobru koncentričnost i što ne smanjuju čvrstoću oblika dijelova u spoju. Oni sa stožastim dosjednim površinama mogu prenositi i aksijalna opterećenja.

KLINOVI I POVODNA PERA

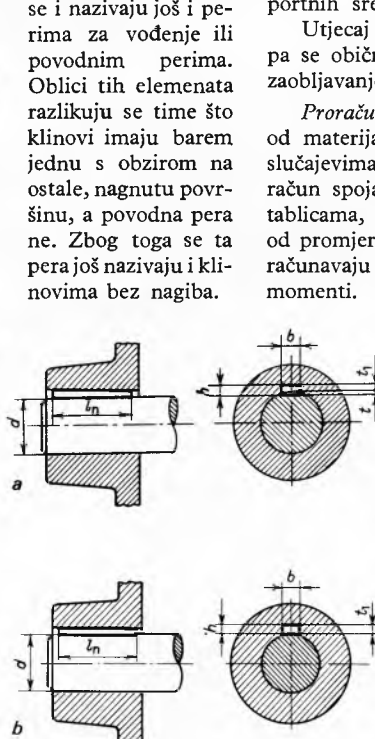
Klinovi i povodna pera jednostavni su elementi strojeva koji služe za izvođenje brzo rastavljivih spojeva namijenjenih prijenosu snage momenta vrtnje (u spojevima s glavinama). Osim po djelovanju u spoju oni se međusobno razlikuju namjenom i oblikom. Klinovi služe za čvrsto spajanje, dok se povodna pera upotrebljavaju za spojeve s dijelovima koji se mogu pomicati po vratilu aksijalno. Zbog toga se i nazivaju još i perima za vođenje ili povodnim perima. Oblici tih elemenata razlikuju se time što klinovi imaju barem jednu s obzirom na ostale, nagnutu površinu, a povodna pera ne. Zbog toga se ta pera još nazivaju i klinovima bez nagiba.



Sl. 148. Utorni klinovi: a uložni, b utjerni, c kukasti



Sl. 147. Uzdužni presjeci nekih spojeva s poligonalno profiliranim vratilima i provrtima glavina. a Bokovi profila paralelni, b bokovi profila s nagibom



Sl. 149. Uzdužni klinovi: a plosnati klin, b zaobljeni ili udubljeni klin

Klinovi se dijele na dvije glavne skupine, i to na uzdužne i poprečne. Uzdužni se klinovi postavljaju u spoj u paralelnom, a poprečni u okomitom pravcu na os spoja. Među tim klinovima također postoje razlike s obzirom na namjenu.

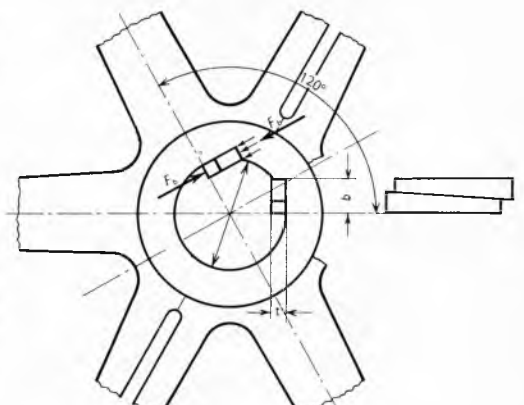
Uzdužni klinovi i njihovi spojevi. Osim kod nekih specijalnih klinova, nagib površine tih elemenata je 1 : 100. Njihovih oblika ima priličan broj, ali se svi mogu svrstati u četiri temeljne skupine, već prema obliku njihovog profila i prema načinu izvođenja njihovih spojeva s obzirom na vratilo. Naime, dok se za spajanje uzdužnim klinovima za njihov smještaj u provrtu glavine redovito izrađuje utor, njihovo učvršćivanje na vratilo izvodi se i na druge načine. Tako se uz utorne klinove (one za čiji je smještaj također i na vratilu izrađen utor; sl. 148) razlikuju još i plosni (oni koji spajaju vratilo s pomoću na njegovom obodu zaravnatih površina: sl. 149 a), zaobljeni (oni koji učvršćuju vratilo u spoj samo naponom; sl. 149 b) i, kao specijalne vrste, tangencijalni klinovi (sl. 150, te segmentni Woodruffov klin, sl. 151). U djelovanju svih tih klinova u spojevima ima dosta načelnih sličnosti.

Sile i pritisci koji djeluju u spojevima s uzdužnim klinovima pri zabijanju i izbijanju prikazane su na sl. 152. Pri tome se rezultanta normalne sile F_1 koja djeluje na zakošenu površinu klina i njome uzrokovane sile otpora trenja $\mu F_1'$ može rastaviti, s obzirom na os spoja, na uzdužnu F_h i poprečnu F_l' komponentu, kako je to već opisano (v. sl. 135). Odatle se onda na sličan način kao pri izvođenju formule za normalnu silu i silu izbijanja steznih spojeva s glavinama (str. 230) može izračunati odnos između prethodne sile spoja $F_p = F_t = F_l'$ i sile zabijanja (F_z), odnosno izbijanja (F_{iz}).

Pri običnim uvjetima u spojevima s klinovima dobije se da je $F_p \approx 4,7 F_z$. Analogno tome i ovdje je uvjet za samokočnost klina $\alpha \leq 2\varrho$ što slijedi iz $F_{iz} > F_z$. Zbog takvog djelovanja, uzdužni klinovi učvršćuju dijelove spoja ne samo u poprečnom, nego i u uzdužnom pravcu, pa im je prednost u tome što ne zahtijevaju posebne mjere za aksijalno osiguranje. Nedostatak je uzdužnih klinova u tome što u spojevima lako uzrokuju ekscentrični položaj vratila prema glavini. Kako zbog toga pri velikim brojevima okretaja mogu nastupiti vibracije, primjena spojeva uzdužnim klinovima ograničena je na slučajeve s malim i srednjim brojevima okretaja. Upotrebljavaju se u strojarstvu za spajanje različitih elemenata koji rotiraju (npr. remenica, zupčanika, zamašnjaka, spojka) i tamo gdje se traži neosjetljivost spoja prema prljavštini (npr. u poljoprivrednim, građevnim i strojevima transportnih sredstava).

Utjecaj je ureza u spojevima uzdužnim klinovima važan pa se obično poduzimaju mjere da se on smanji. To se postiže zaobljavanjem bridova utora i klinova.

Proračuni uzdužnih klinova. Ovi klinovi izrađuju se obično od materijala s čvrstoćom $\sigma_L \geq 60 \text{ kp/mm}^2$, a, osim u rijetkim slučajevima, dimenzije su im standardizirane. Zbog toga se proračun spoja s uzdužnim klinom obično sastoji od izbora prema tablicama, u kojima su navedene dimenzije klinova u zavisnosti od promjera vratila. U iznimnim slučajevima, kad se klinovi proračunavaju na odrez, mjerodavni su njihovi maksimalni nosivi momenti. Koeficijent sigurnosti u tim proračunima uzima se



Sl. 150. Tangencijalni klinovi