

**Segmentni (Woodruffovi) klinovi.** Uzdužni presjek spoja sa segmentnim klinom prikazan je na sl. 160. Prednost tih klinova jest njihova samoudesivost, a nedostatak što je utor za njihov smještaj u spoju dosta dubok i zato znatno oslabljuje vratilo. Upotrebljavaju se često za spojeve kod alatnih strojeva. Segmentni su klinovi standardizirani.

Proračuni spojeva s povodnim perima izvode se načelno jednako kao i proračuni spojeva s uzdužnim klinovima. Pri tome, kad je to potrebno, mora se unaprijed odrediti i maksimalni moment okretanja koji taj spoj može sigurno prenositi.

Proračun ostalih dijelova spoja razlikuje se od proračuna spojeva s uzdužnim klinovima time, što se naprezanja materijala u opasnom presjeku izračunavaju samo iz momenta okretanja koje ona treba prenositi i mjerodavnih geometrijskih odnosa.

### SPOJKE

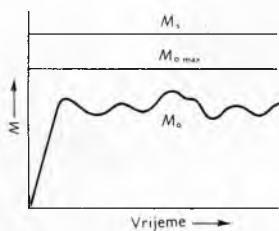
Spojke su dijelovi strojeva koji se upotrebljavaju za međusobno spajanje vratila ili osovina, kao i dijelova koji su montirani na tim elementima (npr. zupčanika remenica). Pri tome svrha tih spojeva može biti prenošenje momenta okretanja  $M_o$ , ili torzije  $M_t$ , što je zapravo jedno te isto, s pogonskog na vođeni stroj, ali i neka druga, kao npr. zaštita pogonskog stroja od eventualnog preopterećenja, prigušivanje torzijskih vibracija spojenih vratila (npr. onih s dužinama većim od uobičajenih).

Osnovna jednadžba za proračunavanje spojke pokazuje, koji maksimalni moment okretanja ona može prenositi u radu:

$$M_{o\max} = M_o \varphi = \frac{P}{2\pi n} \varphi = \frac{P}{\omega} \varphi,$$

gdje je  $M_o$  normalni (ili nominalni) moment okretanja,  $\varphi$  tzv. faktor nejednoličnosti ili faktor udara,  $P$  snaga koja se prenosi,  $n$  broj okretaja vratila,  $\omega$  kutna brzina. Za određivanje momenta potrebno je, osim snage koja se prenosi, poznavati još i veličinu  $\varphi$ , koja se obično uzima iz priručnikâ a na osnovi podataka stečenih iskustvom. U njima se  $\varphi$  daje u zavisnosti od vrste vođegog i vođenog stroja, odnosno od načina njihovog rada. Pri konstantnim snagama i brojevima okretaja agregata (npr. kod vodnih turbina i električnih generatora) faktor nejednoličnosti (udara) vrlo je blizak jedinici, a u drugom slučaju (npr. kod stapnih pumpa, stapnih kompresora i valjaoničkih strojeva) razmjerno je velik. Dijapazon za vrijednosti  $\varphi$  općenito je 1,1...5.

Sposobnost neke spojke da može sa sigurnošću prenositi snagu putem momenta vrtnje izražava se obično tzv. momentom spojke  $M_s$ . Maksimalni moment  $M_{o\max}$  koji može nastupiti u radu, mora biti manji od momenta spojke  $M_s$  i samo u krajnjem slučaju smije biti njemu jednak. Odnos između veličina  $M_s$ ,  $M_{o\max}$  i  $M_o$  prikazan je principijelno na sl. 161.



Sl. 161. Odnos momenta spojke  $M_s$ , maksimalnog momenta  $M_{o\max}$  i normalnog momenta u zavisnosti o vremenu rada

Materijal spojke najčešće je čelik, lijevani čelik, lijevano željezo, a ponekad i drugi metali. Osim da spojke budu lako rastavljive, od njih se još traži da budu što laganije i da nemaju dijelova koji strše. Ako se konstrukcijom ne mogu izbjeći stršeci dijelovi spojke, na nju se postavlja zaštitno limeno kućište, što je određeno propisima zakona o zaštiti na radu. Radi smanjenja progiba i vibracija, vratila spojke smještaju se što bliže ležajima. Pri većim se brojevima okretaja traži od spojke da bude statički i dinamički izbalansirana.

Principi i načini djelovanja spojka ne samo da su brojni, nego se i međusobno kombiniraju. Zbog toga su njihove konstrukcije vrlo brojne, što otežava njihovu klasifikaciju.

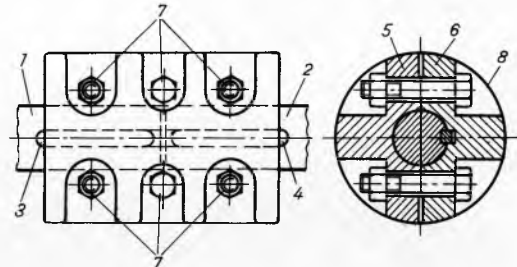
U ovom članku prihvaćena je klasifikacija spojka s obzirom na njihovu podjelu na neelastične, elastične, isključne i specijalne, jer pregledno obuhvaća čitavo područje spojka. Zbog njegove opsežnosti bilo je nužno ograničiti se na najvažnije izvedbe i opise njihovog funkcioniranja, dok se načini proračunavanja pojedinih tipova spojka mogu naći u specijalnoj literaturi i priručnicima.

### Neelastične spojke

Kako se prenošenje momenta vrtnje neelastičnih spojka obavljaju bez prigušivanja i potpuno kruto, njihova upotreba ograničena je na slučajeve u kojima nema promjena tog momenta ili su promjene toliko male da ih se može zanemariti. Osim spojka koje pri tome ne omogućavaju pomake vratila (krute spojke), u ovu skupinu ubrajaju se i one koje, iako su neelastične, mogu kompenzirati bilo uzdužne dilatacije (dilatacijske), bilo poprečne i kutne pomake (pokretljive), odnosno i jedne i druge (kutnopokretljive i uzdužnopokretljive, pokretljivodilatacijske).

**Krute spojke.** Iz potpune krutosti ovih spojka slijedi zahtjev da središnjice s njima spojenih vratila budu koaksijalne. Te spojke mogu djelovati ili naponom ili svojim oblikom. U prvom slučaju one prenose momente vrtnje između dvije svoje polovice obično trenjem, a u drugom obično vijcima. Klinovi koji se pri tome upotrebljavaju služe samo za osiguranje spojke od klizanja po vratilu. Najpoznatije krute spojke jesu školjkasta, kolutna, spojka Sellers i spojka Hirth.

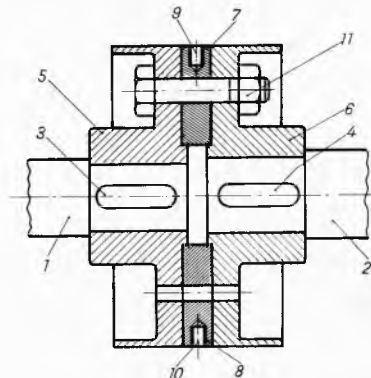
**Školjkasta spojka** (sl. 162) sastoji se od dviju međusobno (sa 4 do 8 vijaka) stegnutih polovina. Glave i matice vijaka postavljaju se naizmjenično radi smanjenja dužine spojke. Vijci su tako upu-



Sl. 162. Školjkasta spojka. 1, 2 Vratila, 3, 4 klinovi, 5, 6 dijelovi spojke, 7 vijci s maticama, 8 zaštitno kućište

šteni da ne prelaze rotacijsku konturu spojke. Zbog sigurnosti na radu, spojka se oblaže limenom oblogom. Između polovina spojke mora i nakon pritezanja ostati stanovita zračnost (0,5...1 mm) kako ne bi nalegla jedna polovina na drugu, budući da spojka prenosi zakretni moment trenjem (oblikom), a klin služi samo kao osiguranje. Dvodijelna izvedba omogućava montažu i demontažu bez pomicanja vratila.

**Kolutna spojka** (sl. 163) zapravo je dotjeranija vrsta prirubne spojke (spojke od jednostavnih prirubnica, koje su nakovane ili



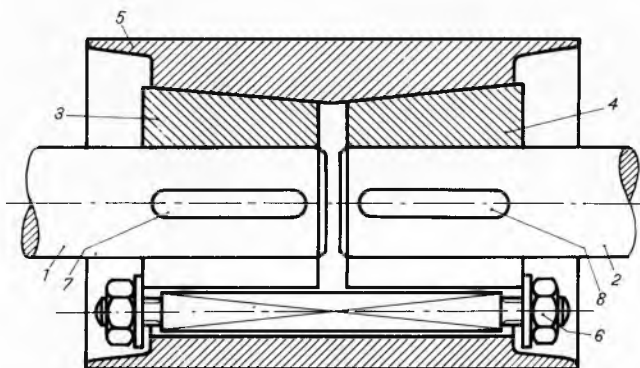
Sl. 163. Kolutna spojka. 1, 2 Vratila, 3, 4 klinovi, 5, 6 dijelovi spojke, 7, 8 dijelovi uložka, 9, 10 provrti s navojem za izvlačenje uložka, 11 stezni vijci

zavarene na vratila). Slično kao i kod prirubnih spojka, dva glavna dijela kolutne spojke ugrađuju se na vratila prešanjem ili toplim

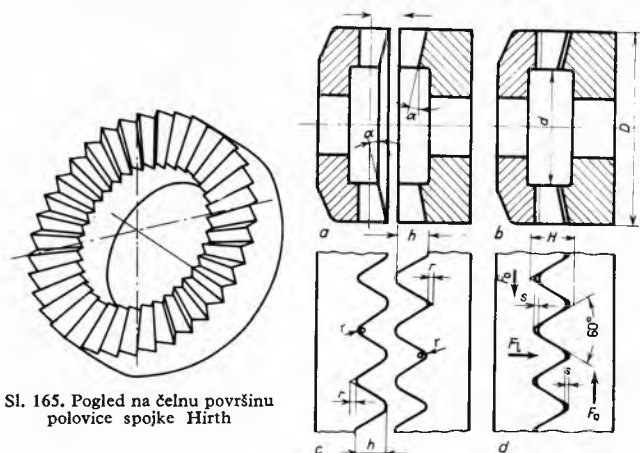
navlačenjem. Osim toga osiguravaju se klinovima. Uložak među glavnim dijelovima ovih spojka služi za centriranje. Uložak je dvodijelan u slučajevima kad je potrebno montirati spoj bez aksijalnog pomicanja vratila ili kad je potrebno njegovo povremeno rastavljanje. U izvedbama bez uložka za centriranje posebno se oblikuju dosjedne površine glavnih dijelova spojke. Kod prijenosa momenta vrtnje konstantne veličine, sila trenja potrebna za spoj stvara se stezanjem spojnim vijcima. Pri udarnim opterećenjima primjenjuju se dosjedni vijci, odnosno vijci sa stožastim svornjacom. Vlačna sila koja djeluje u jednom vijku ove spojke pri prijenosu momenta trenjem, mjerodavna za njegov proračun jest

$$F = \frac{2 M_{o \max}}{D_m z \mu},$$

gdje je  $D_m$  promjer kruga rupa za vijke,  $z$  njihov broj, a  $\mu$  koeficijent trenja na dosjednim površinama dijelova spojke. U slučajevima kad dolazi do prijenosa momenta opterećenjem vijaka na smik, treba uzeti u obzir silu koja uzrokuje to naprezanje.

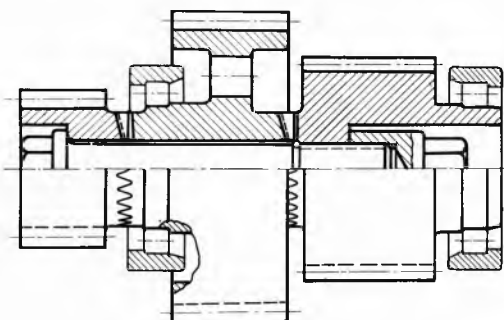


Sl. 164. Spojka Sellers. 1, 2 Vratila, 3, 4 prorezani stožasti prstenovi, 5 obočje, 6 vijci s kvadratnim presjekom svornjaka, 7, 8 klinovi



Sl. 165. Pogled na čelnu površinu polovice spojke Hirth

Sl. 166. Spojka Hirth. a Uzdužni presjek u isključenom položaju, b uzdužni presjek u uključenom položaju, c, d presjeci zuba u isključenom i uključenom položaju i djelujuće sile



Sl. 167. Veza triju zupčanika ostvarena spojkama Hirth i centralnim vijkom

Spojka Sellers (sl. 164) sastoji se od dva nutarnja prorezana prstena navučena na krajeve vratila. Ti su prstenovi uvučeni u vanjski plašt koji s unutarnje strane ima dvostruku konusnu površinu istog koniciteta kao i prstenovi. S pomoću triju vijaka s kvadratnim presjekom svornika uvlače se konusni prstenovi u konuse vanjskog plašta, te se na taj način stvara pritisak na dosjednim površinama dovoljan za prenošenje zakretnog momenta s jednog vratila na drugo. Dva klina bez nagiba osiguravaju prijenos.

Spojka Hirth (sl. 165 i 166) ima radijalno ozubljene čeonice plohe obiju polovica. Kako je to ozubljenje relativno plitko, ono se može izvesti na čeonim dijelovima šupljih vratila, zupčanika i sl. Spaja se vijkom kroz središnji otvor spojke. Takve spojke prikladne su za spojeve u ograničenom prostoru, a istovremeno centriraju dijelove u spoju. Takav primjer prikazan je na sl. 167.

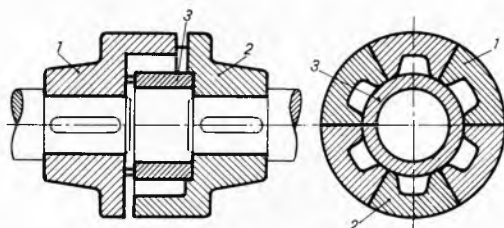
Dalja prednost tih spojka jest u tome što pri spajanju s njima nisu potrebni klinovi pa, kako zbog toga u njima nema oslabljujućeg djelovanja utora, mogu prenositi udarna i promjenljiva opterećenja.

Proračun tih spojka obuhvaća kontrolu naprezanja na torziju, na savijanje i na specifični pritisak na bokovima zubi.

**Dilatacijske spojke** upotrebljavaju se za neelastično spajanje tamo gdje je potrebno kompenzirati toplinska istezanja, koja se javljaju pod utjecajem pogonskih temperatura, naročito kod duljih vratila, ili kod vratila elektromotora koja su izložena aksijalnim oscilacijama. Ove spojke sprečavaju znatnija naprezanja vratila na savijanje i preopterećivanje ležaja, koja su posljedica toplinske dilatacije. Najpoznatije dilatacijske spojke jesu jednozubne, pandžaste i zupčane.

Jednozubna spojka vrlo je jednostavna, ali se rijetko upotrebljava.

**Pandžaste spojke** (sl. 168) zbog jednostavnije izrade većinom se prave s neparnim brojem pandžâ (obično 3, ponekad 5). Za smanjenje trenja na bokovima pandžâ, kojim se ove spojke opiru dilataciji, one se povremeno podmazuju. Centriranje spojke postiže se posebnim prstenom.



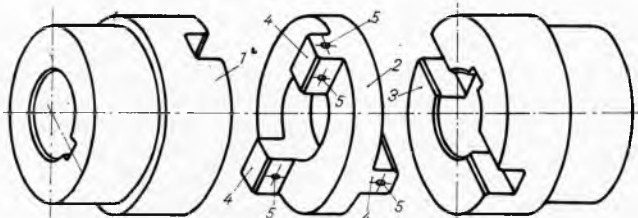
Sl. 168. Pandžasta spojka. 1, 2 Dijelovi spojke s pandžama, 3 prsten za centriranje

Nedostatak je pandžastih spojka u tome što zahtijevaju vrlo točnu izradu i montažu, i što u protivnom najčešće prenose opterećenje samo jednom pandžom. One se mogu uključivati samo za vrijeme mirovanja ili pri malom broju okretaja da se pandže ne bi oštetile, a isključivati po potrebi i pri punoj brzini.

Ovim spojkama slične su **zupčane spojke**, koje imaju jednu polovicu s vanjskim, a drugu s unutarnjim cilindričnim ozubljenjem. Prednost im je što u tome oko 75% njihovih zubi sudjeluje u prijenosu opterećenja. Zbog toga su prikladnije od pandžastih za prijenos većih momenata vrtnje. Osim toga ove spojke dopuštaju i mala radijalna pomicanja vratila; moraju se podmazivati.

**Poprečnopokretljive i kutnopokretljive neelastične spojke** upotrebljavaju se za neelastično spajanje vratila u slučajevima kada radijalna i kutna pomicanja dvaju vratila (s obzirom na njihove središnjice) predstavljaju specifičnost pogona. Spojke za prenošenje momenta vrtnje uz kutne pomake vratila jednoga prema drugome poznate su pod nazivima **kutnopokretljive**, **zglobne** ili **kardanske spojke**.

Spojka Oldham (sl. 169) omogućava rad spojenih vratila i kad su im središnjice pomaknute do 5% promjera. Pri tome se samo njen križni međudio relativno giblje klizanjem njegovih izdanaka u utorima vodećeg i vođenog dijela spojke. Za odvijanje tog procesa, uz umjereno trenje i trošenje, potrebno je podmazivanje spojke preko naročitih otvora. Zbog klizanja izdanaka u utorima dijelova pri razmjerno velikim specifičnim pritiscima, upotreba ove spojke za prijenos velikih i udarnih momenata vrtnje nije preporučljiva.



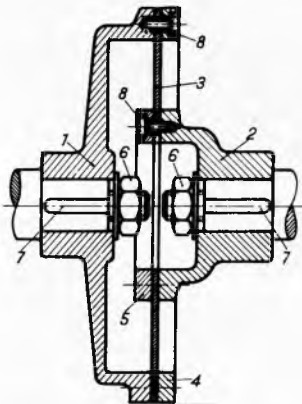
Sl. 169. Spojka Oldham. 1 Vodeći dio, 2 križani međudio, 3 vodeni dio, 4 izdanci, 5 otvori za podmazivanje

**Kutnopokretljive spojke** elementi su za kardanski prijenos (TE 1, str. 514, 515). Najprije su se upotrebljavale samo za spojeve osovina i vratila u automobilnim vozilima. Odatle se njihova primjena proširila na opsežno područje strojarstva (poljoprivredni, parni i valjaonički strojevi, brodovi, dizalice, strojevi za preradu plastičnih masa i dr.).

**Kutnopokretljive i uzdužnopokretljive spojke.** Među ovim spojkama najpoznatije su membranske.

Jednostavna membranska spojka (sl. 170) sastoji se od dviju glavina spojenih na vratilima s pomoću klinova, navoja i matica, te tanke membrane od pernog čelika, učvršćene na glavine prstenovima i vijcima. Kutnu i uzdužnu pokretljivost spojke osigurava elastično djelovanje membrane. Najviše se upotrebljava za zaštitu ležaja vratila tamo gdje oni mogu biti oštećeni uslijed pomaka središnjice vratila. Nije prikladna za veća opterećenja.

Višedijelna membranska spojka, naprotiv, dopušta prijenos velikih snaga (npr. prikladna je za parne turbine). Njena tzv. višedijelna membrana ima oblik cilindra s valovitim tankim stijenkama.



Sl. 170. Jednostavna membranska spojka. 1, 2 Glavine spojke, 3 membrana, 4, 5 prstenovi za pričvršćenje membrane, 6 maticе, 7 klinovi, 8 vijci za pričvršćenje membrane

### Elastične spojke

Elastične spojke upotrebljavaju se za spajanje vratila tamo gdje se prenose promjenljivi momenti vrtnje, pri čemu se može očekivati da te promjene budu i udarnog karaktera, te da se mogu pojaviti i torzijske vibracije. Da bi mogle zadovoljiti te zahtjeve, elastične spojke moraju uz pomake koje dopuštaju i neelastične spojke omogućiti još i međusobno relativno zakretanje vratila do stanovite mjere, uz istovremeno preuzimanje dijela energije udara. Za tu svrhu vodeći i vođeni dijelovi ovih spojkâ spajaju se metalnim oprugama ili drugim elementima od elastičnih materijala, npr. kože, gume, plastičnih masa. Zbog toga imaju karakteristike slične karakteristikama opruga.

O vrsti njihovih elastičnih elemenata ovisi i način na koji ove spojke funkcioniraju. Gledano s tog stanovišta, među njima treba teoretski razlikovati one koji djeluju samo kratkotrajnom akumulacijom energije udara i one koji djeluju uz to još i prigušivanjem (pretvorbom dijela te energije u toplinu). Karakteristiku spojkâ koje prigušuju čine dvije krivulje, od kojih jedna prikazuje navedenu funkciju pri opterećenju, a druga pri rasterećenju spojke.

Među elastičnim spojkama koje u teoretskom slučaju djeluju samo akumulacijom energije, važno je lučiti spojke s ravnom i one s progresivnom karakteristikom. Te druge su povoljnije, jer sprečavaju dospijevanje vlastitih titranja sustava u rezonancijsko područje, zbog zavisnosti krutosti od kuta zakretanja (v. Karakteristike opruga, str. 215).

Zbog svega toga najčešće se traži od elastičnih spojkâ progresivna karakteristika s prigušivanjem. Pri tome je važna prigušna sposobnost spojke mjerena tzv. relativnom prigušnošću

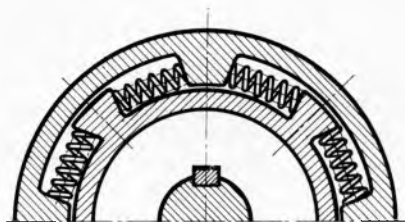
$$\Psi = \frac{W_p}{W_a}$$

gdje su  $W_p$  i  $W_a$  prigušni, odnosno akumulirani rad. Kako ona kod elemenata sa zakrivljenom karakteristikom nije konstantna, uzima se njena srednja vrijednost. (Kod spojkâ s prigušivanjem je  $1 > \Psi > 0$ , a kod onih bez prigušivanja  $\Psi = 0$ .) Progresivna karakteristika metalnih opruga ovih spojkâ postiže se konstruktivnim mjerama. Njima je cilj da se dio opruge izložen silama koje ga opterećuju na savijanje ili torziju (promatran kao krak poluge) čini sve kraćim što je opterećenje veće, tako da time krutost spojke u cjelini postaje sve veća. Potrebna prigušna sposobnost elastičnih spojkâ najčešće se postiže ugradnjom posebnih prigušnih elemenata od drugih materijala. Zbog toga se ove spojke i dijele na spojke s metalnim oprugama i spojke s prigušnim elementima.

**Elastične spojke s metalnim oprugama.** Među najpoznatije ovakve spojke ubrajaju se: spojka Benn, spojka Voith-Maurer, spojka Axien, spojka Bibby i spojka Deli.

**Spojka Benn** sastoji se od dva ozubljena kola sa širokim ozubinama u koje su ugrađene zavojne torzijske opruge u sabijenom stanju (sl. 171).

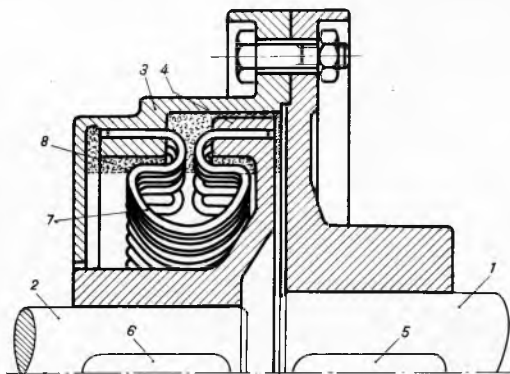
Međusobno zakretanje dijelova ove spojke, zbog prednapona opruga, nastupa istom nakon prekoračenja stanovitog momenta



Sl. 171. Spojka Benn

vrtnje. Za vrijeme elastičnog djelovanja ta spojka ima ravnu karakteristiku. Pri prekoračenju maksimalne veličine momenta vrtnje  $M_{0max}$  zavojci opruga sjednu jedni na druge. Tada spojka radi kao neelastična.

**Spojka Voith-Maurer** (sl. 172) ima za elastični element prsten koji se sastoji od brojnih pojedinačnih torzijskih opruga u obliku slova  $\Omega$  (omega). Spoj vodećeg i vođenog dijela ove spojke izveden je s pomoću provrta u vijencima u koje su utisnuti krajevi tih opruga. Spojka ima progresivnu karakteristiku. Prikladna

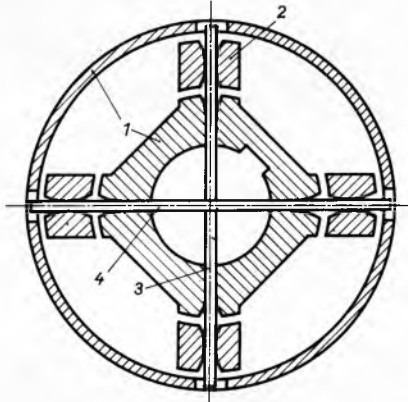


Sl. 172. Spojka Voith-Maurer. 1, 2 Vodeće i vođeno vratilo, 3, 4 vodeći i vođeni dio spojke, 5, 6 klinovi, 7 torzijske opruge, 8 prostor za mast

je za prijenos momenta vrtnje od 15 do 12 000 kpm i onda kada su njihove promjene velike, a i u pogonima s udarima. Omogućava relativno zakretanje dijelova do  $2,5^\circ$ , kutne pomake središnjica vratila do  $1,5^\circ$  i radijalne pomake vratila od 0,6 do 1,6 mm. Spojka se mora puniti gustim mazivom.

**Spojka Axien** (sl. 173) prenosi zakretni moment s pomoću unakrst složenih lisnatih opruga koje se oslanjaju na zakrivljene plohe nalijeganja na vodećem i vođenom dijelu. Kod povećanja opterećenja opruge sve više naležu na te plohe, time skraćuju svoju slobodnu dužinu savijanja te na taj način daju toj spojci progresivnu karakteristiku. Trenje koje se pojavljuje među listovima opruga čini stanovito prigušno djelovanje. Da bi se sma-

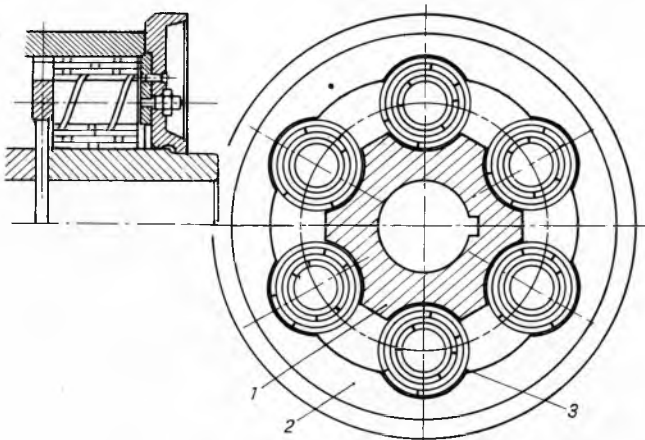
njilo trenje, ove se spojke podmazuju gustim mazivom. One mogu prenositi momente vrtnje  $1,5 \cdot 2000$  kpm, te omogućavaju relativno zakretanje svojih dijelova do  $2^\circ$ , kutne pomake do  $1^\circ$ , te aksijalne pomake  $3 \cdot 9$  mm i radijalne pomake od 2 mm, već prema veličini spojke.



Sl. 173. Spojka Axien. 1 Vodeći dio, 2 vođeni dio, 3 i 4 listnate opruge

*Spojka Bibby*, prikazana već ranije (v. sl. 78), ima vodeći i vođeni dio koji su međusobno potpuno jednaki. Oni imaju ozubljenje u čije je uzubine uložena zmioljika dvokraka listnata opruga pravokutnog presjeka, od visokolegirano pernog čelika kaljenog poslije izrade. Kod velikih spojka (npr. na brodovima) čiji vanjski promjer može doseći 3700 mm, za promjer vratila od 600 mm, opruga nije od jednog komada, već se sastoji od  $6 \cdot 8$  zmioljika sekcija, što je sigurnije u pogledu eventualnog loma opruge u jednoj od sekcija. Spojka je s vanjske strane zaštićena lijevanim dvodijelnim plaštem protiv iskakivanja opruga uslijed djelovanja centrifugalne sile; dobro zatvoreni plašt služi ujedno i kao rezervoar za mazivo (obično konzistentna mast). I kod te spojke progresivna karakteristika postignuta je zakrivljenošću dosjednih površina za opruge (na zubima) i time skraćivanjem slobodne dužine savijanja (sl. 78 b, c, d; strelice pokazuju pomicanje hvatišta djelujućih sila). Ta se spojka upotrebljava za prijenos momenata vrtnje od  $2 \cdot 10\,000$  kpm, a dopušta relativno zakretanje do  $1,2^\circ$ , kutni pomak do  $1,3^\circ$ , aksijalne pomake  $4 \cdot 20$  mm i radijalne pomake  $0,5 \cdot 3$  mm. Zbog toga je prikladna za vrlo teške uvjete rada (za udarna opterećenja pri prijenosu snaga od  $0,5 \cdot 27\,000$  KS i više) i brojeva okretaja  $400 \cdot 24\,000 \text{ min}^{-1}$ . Upotrebljava se u motorima s unutarnjim izgaranjem, alatnim strojevima, parnim turbinama (naročito na brodovima) itd. Zbog jednostavnosti konstrukcije, dobre sposobnosti prigušivanja nejednolikosti kod prijenosa torzijskog momenta s jednog vratila na drugo i sigurnosti u radu, ta se spojka danas smatra jednom od najboljih elastičnih spojka.

*Spojka Deli* tvrtke Demag (sl. 174). Elastični elementi ove spojke sastoje se iz izvjesnog broja paketa zavojnih cilindričnih



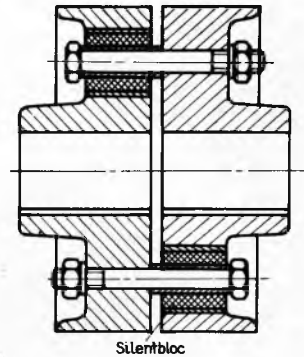
Sl. 174. Spojka Deli (Demag). 1 Vodeći dio, 2 vođeni dio, 3 spiralne opruge

opruga (plosnog presjeka) koje su uložene jedne u druge. Ti su opružni paketi smješteni u odgovarajuća udubljenja na glavini i vijencu spojke. Pod djelovanjem zakretnog momenta, opruge se uvrcu smanjujući svoj promjer. To je popraćeno znatnim trenjem unutar opruga, pa zato spojka ima snažno prigušno djelovanje. Ona dopušta velika relativna zakretanja ( $5 \cdot 10^\circ$ ). Nedostatak joj je što ne dopušta skoro nikakve aksijalne i kutne pomake.

**Elastične spojke s prigušnim elementima.** Od velikog broja ovih konstrukcija najpoznatije su elastične kolutne spojke Eupex i Periflex.

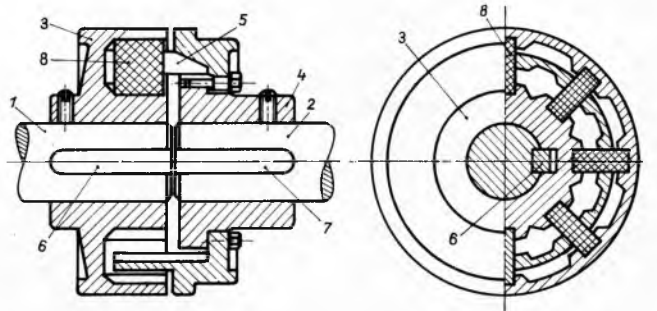
*Elastične kolutne spojke* slične su konstrukcije kao i krute kolutne. Od tih drugih razlikuju se time što su njihovi spojevi učinjeni elastičnim s pomoću uložaka od elastičnih materijala (najčešće gume, plastičnih masa i kože).

Jedna takva spojka ima kao uložak *silentbloc*, navulkaniziranu gumu između dviju metalnih čahura (sl. 175). Uz prigušno djelovanje ta spojka omogućava i pomake vratila u spoju u svim smjerovima. Često se koristi za spajanje vratila elektromotora s kojim pasivnim strojem.



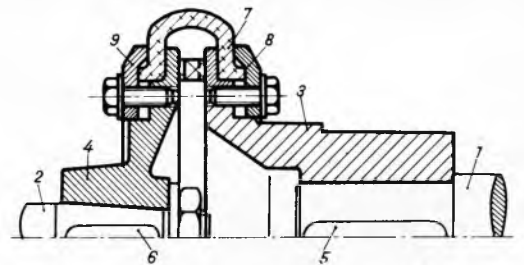
Sl. 175. Elastična kolutna spojka

*Spojka Eupex* (sl. 176). Vodeći dio ove spojke ima na glavini i vijencu uzdužne žljebove u koje su učvršćeni prizmatični gumeni ili kožni ulošci. Na te se uloške oslanjaju izdanci na vijencu vođenog dijela spojke, te ih pri prijenosu zakretnog momenta opterećuju na savijanje. Posebna odlika ove spojke jest visoka prigušna moć, npr. pri relativnom zakretanju dijelova u spoju za  $5^\circ$  u toplinu se pretvara oko 25% dovedene energije.



Sl. 176. Spojka Eupex. 1 Vodeće vratilo, 2 vođeno vratilo, 3 vodeća glavina, 4 vođena glavina, 5 izdanci na vođenoj glavini, 6, 7 klinovi, 8 elastični ulošci

*Spojka Periflex* (sl. 177). Elastični element ove spojke je gumeni prsten potkovičastog presjeka ponekad armiran tekstilnim ili čeličnim pletivom. Taj element pričvršćen je na obje glavine spojke s pomoću prstenova i vijaka. Uz prigušno djelovanje i



Sl. 177. Spojka Periflex. 1, 2 Vratila u spoju, 3, 4 glavine spojke, 5, 6 klinovi, 7 elastični prsten, 8, 9 stezni prstenovi

dopuštanje relativnog zakretanja spojenih dijelova, ta spojka omogućuje i aksijalne, radijalne i kutne pomake do 8 mm, odnosno do 4 mm i do  $4^\circ$ . Prednost joj je što ne zahtijeva točnu montažu,

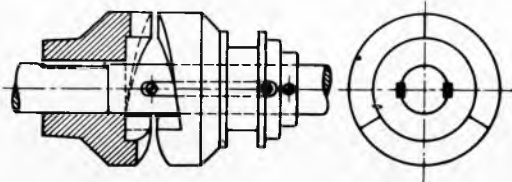
a nedostatak što njen elastični prsten djelovanjem zakretnog momenta uzrokuje u vratilima aksijalne sile koje opterećuju ležaje.

### Isključne spojke

Isključne i uključno-isključne spojke omogućuju međusobno uključanje i isključenje vodećeg i vođenog vratila. Pri tome treba razlikovati spojke koje se u pogonu mogu samo isključiti, a uključiti samo u stanju mirovanja, ili kad je broj obrtaja vodećeg i vođenog vratila isti, tj. sinhroniziran, te spojke koje se mogu uključiti bez obzira na razliku broja obrtaja između vodećeg i vođenog vratila.

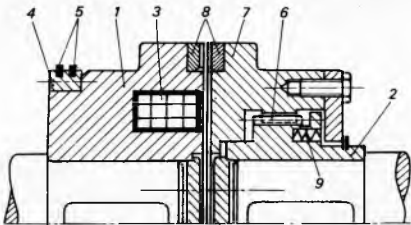
Uredaji za uključanje, odnosno isključenje mogu biti mehanički, pneumatski, hidraulički ili elektromagnetski.

**Isključne spojke sa zubima.** Jednostavne spojke iz te skupine uključuju se mehanički, i to ručno pomicanjem glavine vodene strane po vratilu s pomoću jedne poluge. Ta je glavina spojena s vratilom sa dva klina bez nagiba. Jedna od izvedbi ovih spojkâ sa 3 pandže prikazana je na sl. 178. Takve spojke koje se primjenjuju kod alatnih strojeva, imaju obično veći broj pandža (zubi). Zubi spojke mogu imati i druge oblike, npr. trapezni (za dvosmjerni prijenos momenta vrtnje) ili kosi (za jednosmjerni). Ove spojke nisu preporučljive za uključivanje pri okretanju zbog mogućnosti oštećenja zubi; u uključenom stanju djeluju kao krute.



Sl. 178. Isključna pandžasta spojka

**Elektromagnetski isključne spojke sa zubima.** Jedna od izvedbi ovih spojkâ prikazana je na sl. 179. Njen magnetski dio i glavina spojeni su klinovima s krajevima vratila i aksijalno osigurani.



Sl. 179. Jedna izvedba elektromagnetske spojke sa zubima. 1 Magnetski dio, 2 glavina, 3 uzbuđni svitak, 4 izolacijski prsten, 5 klizni prstenovi, 6 ozubljenje glavine i kotvenog dijela, 7 kotveni dio, 8 ozubljeni prstenovi, 9 tlačne opruge

U jednom utoru magnetskog dijela spojke ugrađen je uzbuđni svitak s izolacijom iz umjetne smole. Uzbuđna struja za aktiviranje svitka dovodi se preko dvaju kliznih prstenova. Posljedice aktiviranja svitka jesu privlačenje kotvenog dijela i zahvat njegovog i ozubljenog prstena magnetskog dijela, a time i uključanje spojke. Isključenje spojke izvode tlačne opruge smještene između glavine i kotvenog dijela čim se prekine dovod uzbuđne struje. Vođenje aksijalnog gibanja kotvenog dijela spojke, potrebno za njeno uključanje i isključenje, omogućeno je kliznim spojem tog dijela s glavinom s pomoću evolventnog ozubljenja na njihovim dosjednim površinama. Postoje izvedbe u kojima se te spojke uključuju djelovanjem opruga, a isključuju elektromagnetskim djelovanjem svitka.

Struja uzbuđenja ovih spojkâ, kao i kod ostalih elektromagnetskih, mora biti istosmjerna, a zbog sigurnosti ne smije imati napon veći od 60 V, pa su za njihovu primjenu potrebni prikladni izvori struje, odnosno transformatori i ispravljači.

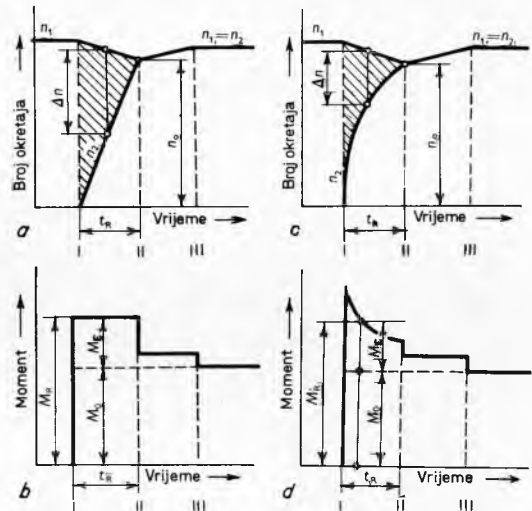
Velike spojke ove vrste zahtijevaju još i zaštitu od vlastitog induksijskog povećanja napona pri isključenju.

**Isključne frikcijske (tarne) spojke.** Bez obzira na konstrukciju—moment vrtnje, odnosno snaga koju prenose ove spojke zavisna je od tlačne sile usmjerene okomito na frikcijsku površinu spojke i od koeficijenta trenja. Pri tome su mjerodavni koeficijenti trenja gibanja, a ne mirovanja, jer se te spojke uključuju uz međusobno klizanje frikcijskih površina sve dok se ne spoje, tj. do prestanka klizanja. Osim toga treba još razlikovati koeficijente trenja pri gibanju po suhim i po podmazanim, odnosno po vlažnim tarnim površinama, prema tome, da li se površine spojke podmazuju ili ne. Koeficijenti trenja »na suho« uvijek su veći od onih »na vlažno«. To znači da moment vrtnje pri uključanju ne može biti veći od momenta trenja  $M_R$ , koji je jednak zbroju momenta vrtnje  $M_0$  potrebnog za neubrzanu rotaciju vođenog vratila (normalnog ili stacionarnog momenta vrtnje) i momenta ubrzanja  $M_e$ .

$$M_e = I \frac{d\omega}{dt} = \frac{G D^2}{4g} \cdot \frac{2\pi dn}{dt} = 1,57 \frac{G D^2}{g} \cdot \frac{dn}{dt},$$

gdje je  $I$  moment tromosti mase vodene strane,  $\omega$  kutna brzina,  $t$  vrijeme,  $G$  težina,  $D$  krak momenta,  $n$  broj okretaja,  $g$  ubrzanje Zemljine teže. Prema tome mora biti  $M_R \geq M_e + M_0$ .

Ti odnosi i procesi koji se odvijaju pri uključanju mogu se predočiti s pomoću dijagrama prikazanih na sl. 180. Odatle se



Sl. 180. Dijagramski prikaz uključanja tarnih spojkâ

vidi da pri uključanju, kad je ispunjen navedeni uvjet, broj okretaja  $n_2$  vođenog vratila mora najprije rasti od vrijednosti  $n_2 = 0$  (stanje I) do  $n_2 = n_0$  (stanje II). Pri tome se broj okretaja vodećeg vratila  $n_1$  najčešće smanji. Za to vrijeme klizu frikcijske površine jedna po drugoj, a od oblika promjena  $M_e$  s vremenom zavisno kako će se mijenjati broj okretaja vođenog vratila. Kad je  $M_e$  konstantan (sl. 180 b), ta je promjena linearna (sl. 180 a). Inače (sl. 180 d) kada  $M_e \neq \text{const}$ , promjena  $n_2$  ima oblik prikazan na sl. 180 c. Na kraju vremena  $t_R$  oba dijela spojke dosežu jednaki broj okretaja  $n_0$ , pa s time prestaje klizanje frikcijskih površina i počinje period ubrzanja rotacije sklopa kao cjeline. Taj period traje sve dok se ne uspostavi neko stacionarno stanje (III) u kojem je zadovoljen uvjet sinhronne rotacije  $n_1 = n_2$ .

Određivanje momenta vrtnje za uključanje frikcijskih spojkâ povezano je, dakle, s određivanjem momenta ubrzanja. Ako taj nije poznat i ne može se odrediti po navedenoj formuli, onda se moment potreban za uključanje određuje iz momenta trenja koji je poznat, tako da bude  $M_R = 2 M_0$ .

Pri proračunavanju tih spojkâ treba izračunati rad trenja. To je potrebno ne samo za određivanje gubitaka energije već i za predodžbu o količini topline koja se kod rada razvija u spojci, a prema tome i o mjerama potrebnim za njeno odvođenje. Taj rad trenja iznosi

$$W_R = 2\pi M_R \int_0^{t_R} \Delta n dt,$$

što znači da je šrafirana površina u dijagramija na sl. 180 a i c mjera toga rada. Obično se toplinski učin toga rada određuje za period od jednog sata množenjem s odgovarajućim brojem uključenja. On je razmjerno velik. Trošenje frikcijskih površina i zagrijavanje štetne su posljedice tih učina i glavni nedostaci frikcijskih spojki koje se često uključuju za vrijeme rada.

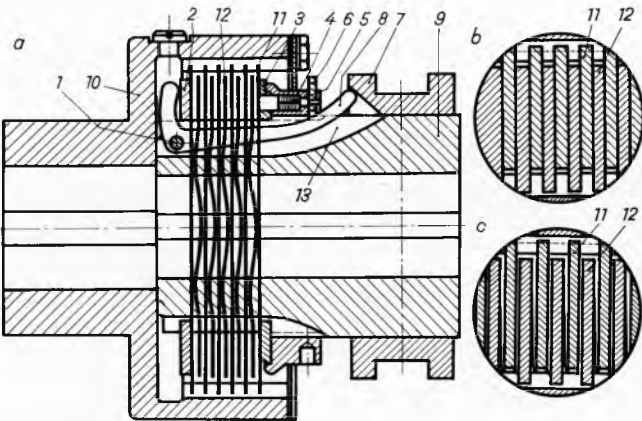
Među tim spojkama najjednostavnije su one koje se uključuju mehanički, ručno, na samome mjestu. Ostale se prvenstveno upotrebljavaju za daljinsko upravljanje. Njihova izvedba složenija je, a primjena povezana s upotrebom uređaja za snabdijevanje tlačnim medijima (kod pneumatski i hidraulički isključnih spojki), ili ispravljača (kod elektromagnetskih spojki). Tarni elementi tih spojki mogu biti napravljeni (odnosno njihove površine mogu obložene) od različitih materijala, kao što su čelik, odnosno čelični lim, čelični lijev, bronca, lijevano željezo, mjed, drvo, prešana koža, prešani papir, azbest, ferodofiber, sinterovani i drugi prikladni frikcijski materijali. Metalne tarne površine trebaju biti podmazane, a drvo, koža i papirnate mase natopljene mašću. Azbestne mase ne treba podmazivati.

Mehanički isključne frikcijske spojke mogu se podijeliti prema obliku njihovih tarnih površina na spojke s čelnim i spojke sa stožastim površinama. Prve se dalje dijele na spojke s pločama i spojke s lamelama (lamelne spojke).

**Mehanički isključne spojke s pločama.** Najjednostavnije među ovim spojkama su one s jednom tarnom pločom kakve se upotrebljavaju u automobilnim vozilima (v. *Automobilna vozila*, TE 1, str. 505 i 542). Načelno su im slične mehaničke spojke koje za postizavanje većeg momenta trenja namjesto jedne imaju veći broj tarnih ploča.

**Mehanički isključne lamelne spojke** razlikuju se od posljednjih uglavnom samo time što njihovi tarni elementi nisu ploče, nego lamele. Te lamele mogu biti od čelika, ili od čelika obloženog sinterovanim ili metalnim oblogama ili slojevima od različitih frikcijskih materijala (npr. od plastičnih masa armiranih pamučnim, azbestnim ili metalnim pletivom). Nedostatak lamela s ravnim površinama jest njihova sklonost sljublivanju. Taj nedostatak može se kompenzirati ugradnjom prstenova od valovitih opruga između pojedinih lamela koji ih odvajaju pri isključenju spojke. Isto tako djeluju i valovite (tzv. sinusne) lamele.

Jedna od najpoznatijih spojki s takvim lamelama prikazana je na sl. 181. Ta se spojka sastoji od vodećeg dijela čvrsto spojenog

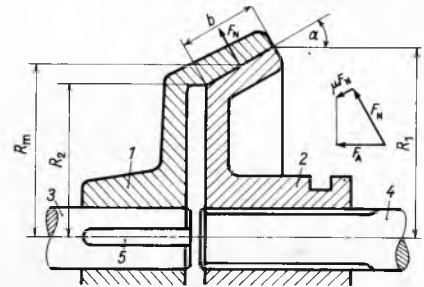


Sl. 181. Lamelna frikcijska spojka (Ortlinghaus). a Uzdužni presjek, b shematski prikaz valovitih lamela u uključenom, c u isključenom stanju; 1 svornjak zgloba, 2, 3 tlačne ploče, 4 postavna matica, 5 sigurnosni zatik, 6 sigurnosna pločica, 7 pokretni prsten, 8 poluga, 9 vodena glavina, 10 vodeća glavina, 11 vanjske lamele, 12 unutarnje valovite (sinusne) lamele, 13 utor za polugu

s vratilom, koji svojim utorima na vanjskom obodu nosi vanjske lamele, i od vodenog dijela s utorima na unutarnjem obodu, koji nosi unutarnje lamele. U vodenom dijelu nalaze se još i utori u kojima su uležištene poluge kod kojih je jedan krak duži a drugi kraći. Na duže krakove poluga može se djelovati preko uzdužno-pokretnog prstena, te tako kraći krakovi poluga djelujući na tlačne ploče ili otpuštaju lamele. Unutarnje su lamele uzdužno-pokretne u utorima vodenog dijela spojke, a vanjske su uzdužno-pokretne u utorima vodećeg dijela spojke. Kod izvedbe s čeličnim lamelama potrebno je podmazivanje, a nutarnje su lamele radi lakšeg odvajanja valovite. Za rad na suho lamele imaju obloge

od umjetne mase ili sinterovanih materijala, a nutarnje su lamele glatke. Kod pojave trošenja zazor se među lamelama podešava s pomoću postavne matice.

**Mehanički isključne spojke sa stožastim tarnim površinama.** Jedna od najjednostavnijih spojki ove vrste shematski je prikazana u uzdužnom presjeku na sl. 182, zajedno sa silama koje u njoj djeluju kad je uključena. Njen vodeći dio čvrsto je spojen klinom s vratilom, a potrebno aksijalno pomicanje vodenog dijela pri uključivanju, odnosno isključivanju, omogućeno je spojem s vratilom s pomoću užlijebljenih dosjednih površina. Tarnne površine spojke imaju oblik plašta krnjeg stošca. Za rad na suho obložene su već spomenutim materijalima.



Sl. 182. Tarna spojka sa stožastim površinama. 1, 2 Vodeći i vodeni dio, 3, 4 vodeće i vodeno vratilo, 5 klin

IZ odnosa između aksijalne sile  $F_A$  potrebne za uključenje, sile normalnog pritiska  $F_N$ , sile trenja  $\mu F_N$  i srednjeg polumjera  $R_m$  stožastih površina, izlazi da je moment trenja mjerodavan za uključenje spojke jednak

$$M_R = \frac{\mu F_A R_m}{\sin \alpha}$$

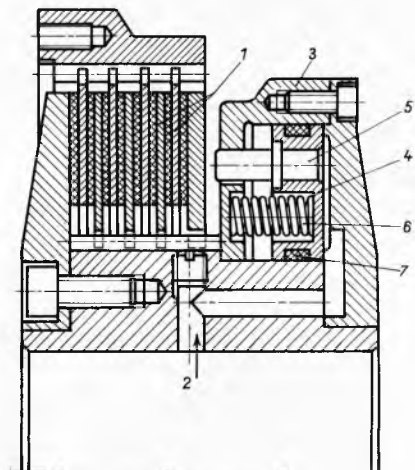
i da je  $F_A$  to manje što je manji kut  $\alpha$ . Za spojke od lijevanog željeza (što je najčešći slučaj) vrijednosti su tog kuta  $8 \dots 10^\circ$ . U svakom slučaju kut  $\alpha$  ne smije biti manji od kuta trenja  $\rho$  za materijale tarnih površina, da se ne bi te površine međusobno zaškljavile. Specifični pritisak na tarnim površinama  $A$  ove spojke, mjerodavan za proračun, iznosi

$$p = \frac{F_H}{A} = \frac{F_A}{2 \pi R_m b \sin \alpha} \leq p_{dop}$$

gdje su oznake prema dijagramu iz sl. 182.

Za sigurno odvajanje tarnih površina ovih spojki, pri isključenju one se moraju međusobno razmaknuti za 1 mm, za što je potreban aksijalni pomak od  $\frac{1}{\sin \alpha}$ .

**Pneumatski isključne tarne spojke.** Načelno se za uključenje i isključenje ovih spojki mogu upotrijebiti svi tarni elementi



Sl. 183. Pneumatski isključna lamelna spojka. 1 Lamela, 2 tlačnoođušni kanali za zrak, 3 cilindar, 4 stap, 5 svornjak, 6 opruga, 7 brtveni prsten

akvi se upotrebljavaju i u mehanički isključnim tarnim spojkama. Zbog toga postoje brojne izvedbe. Ipak, za tarne elemente ovih spojkâ najviše se upotrebljavaju lamele. Jedna izvedba lamelne pneumatski isključne spojke prikazana je na sl. 183. Cilindar uređaja za aktiviranje ove spojke priključen je na spremnik komprimiranog zraka sustavom kanala u vratilu i u spoici preko obično magnetskih ventila za automatsku regulaciju dovoda zraka pri uključanju i njegovog ispuštanja pri isključanju. Pri uključanju spojke komprimirani zrak tlači stap, koji ima veći broj svornjaka. Pomakom stapa svornjaci pritišću paket lamela. Pri isključanju spojke, opruge vraćaju stap u prvobitni položaj.

Odlika je ovih spojkâ da dobro uključuju. Pri tome postoji stanovita tromost uvjetovana vremenom potrebnim za uspostavu dovoljnog tlaka u cilindru uređaja za aktiviranje (do 1 sek, već prema veličini spojke). Nedostaci ovih spojkâ jesu problemi povezani s brtvenjem i mogućnost korozije pod utjecajem vlažnog komprimiranog zraka. Najviše se upotrebljavaju u automobilnim vozilima. Jedna od takvih spojkâ jest spojka Saxomat (v. *Automobilna vozila*, TE 1, str. 507).

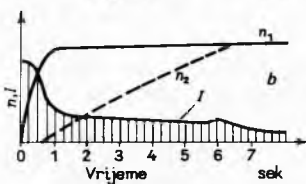
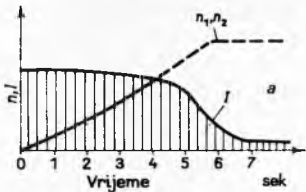
**Hidraulički isključne tarne spojke** po svojoj su konstrukciji sasvim slične pneumatski isključnim, a imaju i slična svojstva. Naročita im je odlika što omogućavaju regulaciju zakretnog momenta, koji prenose promjenama pritiska tekućeg tlačnog medija. Kao tekući medij obično služi lako mineralno ulje.

**Elektromagnetski isključne tarne spojke** također načelno mogu imati različite tarne elemente, kao što i elektromagnetski isključne zubne spojke mogu imati uređaje za aktiviranje sa ili bez kliznih prstenova. Najčešće su lamelne ili s pločama. (V. *Automobilna vozila*, TE 1, str. 507.) Glavne prednosti elektromagnetski isključnih tarnih spojkâ jesu jednostavnost konstrukcije, mali potrošak energije i mogućnost reguliranja zakretnog momenta što ga prenose naponom uzbudne struje. Njihove lamelne izvedbe upotrebljavaju se najviše u alatnim strojevima.

### Specijalne spojke

Specijalne spojke dijele se na spojke za puštanje u rad, sigurnosne i slobodnookretljive spojke.

**Spojke za puštanje u rad** omogućavaju pogonskim strojevima da postignu približno puni broj okretaja i time puni zakretni moment prije nego ih optereti vođeni stroj. Time se izbjegava potreba da se pogonski stroj dimenzionira za snagu potrebnu za upuštanje. To djelovanje spojkâ za puštanje u rad shematski je predočeno dijagramima na sl. 184, koji prikazuju promjenu brojeva okretanja elektromotora s kratkospojnom kotvom  $n_1$  i njime vođenog stroja  $n_2$ , te jakosti struje  $I$  elektromotora, računajući od trenutka uključanja, i to za slučaj spoja krutom spojkom (sl. 184 a), i spojkom za puštanje u rad tipa »Pulvis« (sl. 184 b).

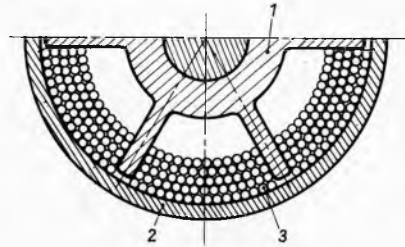


Sl. 184. Shematski usporedbeni prikaz djelovanja spojke za puštanje u rad i krute spojke.  $n_1$  Broj okretaja elektromotora,  $n_2$  broj okretaja vođenog stroja,  $I$  jakost struje elektromotora

Mnoge od takvih spojkâ prenose zakretni moment trenjem, koje nastaje kao posljedica djelovanja centrifugalne sile, te se nazivaju i centrifugalnim spojkama. Dije se na spojke za puštanje u rad koje tu funkciju obavljaju neregulirano i one kod kojih se to može regulirati. Najjednostavniji predstavnici prvih jesu spojka Metalluk i spojka Pulvis, a drugih tzv. čeljusne centrifugalne spojke. (V. i *Automobilna vozila*, TE 1, str. 506). Osim centrifugalnih spojkâ za regulirano puštanje u rad služe i već više puta spomenute hidrodinamičke, elektromagnetske i spojke s magnetskim prahom.

**Spojka Metalluk i spojka Pulvis** prikazane su presjekom na sl. 185 (među njima nema konstruktivne razlike). Njihov vodeći dio je kolo s lopaticama, a vođeni jednostavni bubanj. Vođeni dio može biti remenica, zupčanik i sl. Lopatice pregrađuju pro-

stor unutar bubnja u izvjestan broj jednakih komora. U svaku od njih smješten je jednaki broj kuglica promjera 5-10mm, kod spojke Metalluk, odnosno grafitiranih čeličnih zrnaca promjera 1 mm (kod spojke Pulvis). Pri malom broju okretaja, dok

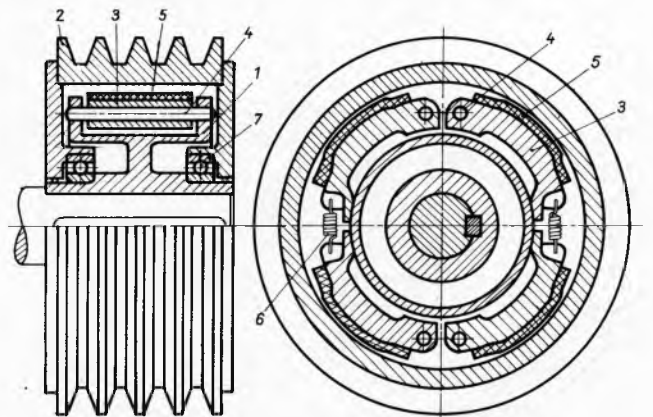


Sl. 185. Spojka Metalluk (odnosno spojka Pulvis). 1 Vodeći dio, 2 vođeni dio, 3 čelične kuglice, odnosno grafitirana čelična zrnca

je djelujuća centrifugalna sila još mala, lopatice guraju kuglice pred sobom. Povećavanjem broja okretaja raste centrifugalna sila koja je izražena sa  $F_c = mr\omega^2$  (gdje je  $m$  masa kuglica,  $r$  polumjer hvatišta te sile,  $\omega$  kutna brzina), te uzrokuje sve veću silu trenja klizanja između kuglica, a također između njih i unutrašnje obodne površine bubnja. Pri tome se, u određenom trenutku počinje prenositi i zakretni moment, koji također raste i na vođenoj strani. Konačno, otpor trenja na vođenoj strani postaje dovoljno velik da prestane klizanje i da nastupi sinhrono okretanje vodećeg i vođenog dijela. Ako u pogonu dođe do preopterećenja, klizanje nastupa ponovno. Da bi se ograničilo istrošenje uslijed trenja u ovoj spoici, ona se puni mazivom (uljem). Prenosivi zakretni moment ovih spojkâ može se regulirati količinom čeličnih kuglica.

**Čeljusne centrifugalne spojke** predstavnici su spojkâ za regulirano puštanje u rad, koje tu funkciju obavljaju s pomoću opruga. Pri tome se one određenom protusilom suprotstavljaju stupanju tarnih površina u spoici u međusobni dodir pod utjecajem centrifugalne sile, pa se taj dodir uspostavlja istom onom kad centrifugalna sila postane veća od protusile opruga. Tek tada počinje djelovati opisani mehanizam prijenosa zakretnog momenta trenjem.

Jedna od izvedbi čeljusnih centrifugalnih spojkâ prikazana je na sl. 186. Oprugama su međusobno spojeni dijelovi parova njenih tarnih elemenata (čeljusti), a zglobno su spojeni s vodećim dijelom spojke s pomoću svornjakâ koji služe kao okretišta. Čeljusti su obložene frikcijskim materijalom. Mirovanje vođenog dijela spojke (u ovom primjeru remenice za klinasto remenje) za vrijeme praznog hoda omogućeno je spojem s vratilom s pomoću kugličnih ležaja.



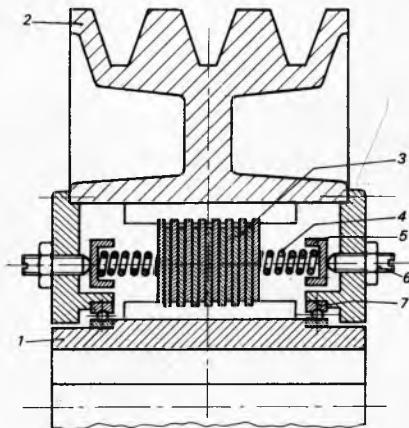
Sl. 186. Spoj klinaste remenice s vratilom pomoću čeljusne centrifugalne spojke. 1 Vodeći dio, 2 vođeni dio — klinasta remenica, 3 čeljusti, 4 svornjaci, 5 tarne obloge, 6 opruge, 7 kuglični ležaji

**Hidrodinamičke spojke** (turbohidrauličke, strujne spojke) prenose zakretni moment iskorištavanjem kinetičke energije struje tekućine (ulja niskog viskoziteta koje se ne pjeni). (V. *Automobilna vozila*, TE 1, str. 508.)

*Spojke s magnetskim prahom.* Medij koji u ovim spojkama prenosi zakretni moment obično je suspenzija praha od željeza u ulju ili smjesa tog praha s grafitom. Magnetiziranjem tog medija, koje se izvodi elektromagnetski, nastupa aglomeriranje čestica praha u lančaste formacije i time povećavanje unutrašnjeg trenja. Kad to dostigne veličinu, dovoljnu da pri određenom zakretnom momentu spoji obje polovice spojke, nastupa njihova sinhrona rotacija. Jakost unutrašnjeg trenja u mediju pri uključenoj razmjerna je jačini struje, što znači da se prenosivi moment dade lako regulirati. (V. *Automobilna vozila*, TE 1, str. 508.)

**Sigurnosne spojke** služe za spajanje u slučajevima kada mogu nastati zopterećenja, koja mogu uzrokovati oštećenja i lomove dijelova koje treba spojiti, ili koja bi mogla ugroziti normalan rad stroja. Prema tome sve spojke, koje mogu prenositi zakretni moment pri asinhronoj rotaciji njihovih dijelova, mogu se upotrijebiti kao sigurnosne spojke. One se zato mogu jednostavno podesiti, tako da pri prekoračenju nekog dopuštenog zakretnog momenta prestaju raditi sinhrono, pa djeluju idealno prigušujuće. Kao sigurnosne spojke upotrebljavaju se i tarne spojke sa stalnom tlačnom silom. One se ubrajaju u tzv. *automatske sigurnosne spojke*, tj. takve koje se samostalno isključuju pri prekoračenju dopuštenog zakretnog momenta, pa počinju klizati, i ponovno uključuju kad se veličina momenta opet smanji na svoju normalnu vrijednost. Kao automatske sigurnosne služe i neke spojke koje spajaju oblikom (npr. sigurnosne spojke s kuglicom). Za razliku od automatskih, vrlo su jednostavne sigurnosne spojke, koje spajaju oblikom (*spojke s prekidnim svornjacima*), ali im je mana da se ne mogu ponovno samostalno uključiti. Takve sigurnosne spojke s prekidnim svornjacima krute su spojke s polovicama međusobno spojenim svornjacima, koji su dimenzionirani tako da se presjeku kad moment koji se prenosi prekorači dopuštenu veličinu. Da bi se spriječilo oštećivanje stijenki provrta tim svornjacima, do čega bi moglo doći pri takvom isključenju, one se zaštićuju tuljcima od kaljenog čelika, a svornjaci se od mekanijeg materijala ulažu u te tuljke. Za ponovno uključivanje ovih spojkâ potrebna je izmjena svornjaka. Osim tog nedostatka ovih spojkâ jest i taj što se veličina prenosivog momenta ne može regulirati.

*Tarne sigurnosne spojke.* Bez obzira na vrstu tarnih elemenata, ove se spojke izvede tako, da spomenuti uvjet za njihovu upotrebu u sigurnosne svrhe (stalna sila koja steže frikcijske elemente) bude ispunjen. To se može postići na jedan od opisanih načina (s pomoću pneumatskih, hidrauličkih ili elektromagnetskih uređaja), a najjednostavnije oprugama. Konstrukcija mora predvidjeti izdašno odvođenje topline koja se razvija trenjem klizanja. Jedna izvedba lamelne sigurnosne spojke s oprugama prikazana je na sl. 187. To su zapravo tarne spojke kod kojih je pritisak na tarne

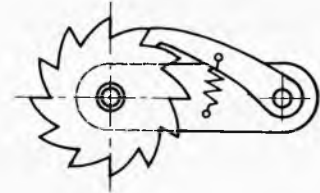


Sl. 187. Lamelna sigurnosna spojka s oprugama ugrađena u remenicu za klinasto remenje. 1 Dio spojke uklinjen na vratilu, 2 vodeni dio spojke s remenicom, 3 paket lamela, 4 opruge, 5 prsten držač opruga, 6 vijak za podešavanje, 7 kuglični ležaj

površine ostvaren s pomoću aksijalnih opruga koje djeluju na paket lamela. Za vrijeme mirovanja pritisak se može regulirati s pomoću bočnih vijaka. Kad zakretni moment za vrijeme rada prekorači postavljenu vrijednost dolazi među lamelama do klizanja.

**Slobodnookretljive spojke**, često poznate pod nazivom »spojke slobodnog hoda«, uključuju vodeni dio samo u jednom smjeru rotacije. U drugom one ga isključuju, a isto tako i kad vodeni dio pretiče vodeći. Zbog toga ove spojke djeluju u jednom smjeru rotacije kao kočnice, a u suprotnom kao slobodno-okretljivi elementi. Neke od tih spojkâ obavljaju opisanu funkciju trenjem među dijelovima, a druge to čine oblikom (ustavljačem i palcima).

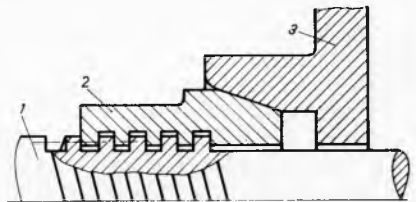
*Slobodnookretljive spojke s ustavljačem i palcima.* Djelovanje spojke jasno je iz sl. 188. Nedostaci ovih spojkâ jesu razmjerno



Sl. 188. Slobodnookretljiva spojka (tzv. zaporna spojka)

veliki prazni hod i udarno uključivanje. Zbog toga se uglavnom upotrebljavaju samo tamo gdje se prenose mali zakretni momenti (npr. u finoj mehanici).

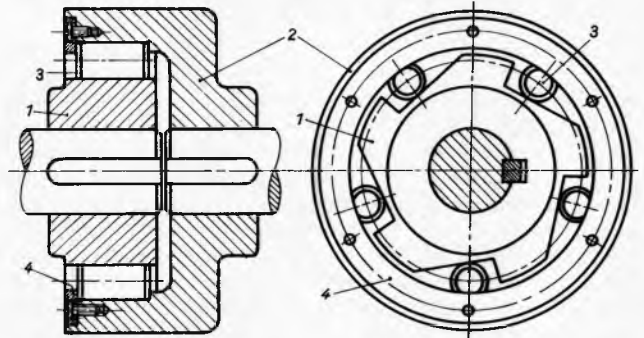
*Aksijalne slobodnookretljive spojke* skoro isključivo se grade prema principu prikazanom na sl. 189. To su zapravo tarne spojke



Sl. 189. Princip rada aksijalne slobodnookretljive spojke. 1 Vodeći vijak na vratilu, 2 vodeća matica, 3 vodeni dio

sa stožastim tarnim površinama, od kojih se jedna nalazi na matici vodećeg dijela, a druga na vodenom dijelu. Matica obuhvata vijak vodećeg dijela koji je napravljen na vodećem vratilu s pomoću kvadratičnog navoja, tako da se u smjeru rotacije, u kojem treba prenositi moment vrtnje, aksijalno primiče prema vodenom dijelu, a u suprotnom od njega odmiče, uključujući, odnosno isključujući pri tome spojku. Ove spojke također se upotrebljavaju za prijenos malih zakretnih momenata.

*Radijalne slobodnookretljive spojke* prenose moment vrtnje trenjem. Obodna površina jednog od njihovih dijelova (u većini slučajeva unutrašnjeg) ima izdanke kojima je jedan bok više-manje okomit, dok je drugi više položen, tako da je prostor između njega i glatke obodne površine drugog dijela s jedne strane širi, a s druge uži (sl. 190). Zbog toga se u taj prostor smješteni čelični



Sl. 190. Radijalna slobodnookretljiva spojka. 1 Unutarnji vodeći dio, 2 vanjski vodeni dio, 3 valjci, 4 prsten za osiguranje valjaka

valjčići slobodno kotrljaju po obodnoj površini dijela s izdancima u onom smjeru rotacije pri kojem dospijevaju na širi kraj tog pro-



stora, a spojka je pri tome isključena. Pri suprotnom smjeru rotacije valjčici se pomaknu prema užem kraju, tako da vrlo brzo između njihovih površina i površina polovića spojke nastaje trenje potrebno za prijenos momenta vrtnje. Da bi to njihovo pomicanje bilo brže, podupiru se oprugama koje tlače valjke u tom smjeru. Jedna od izvedbi ovih spojkâ s izdancima na unutrašnjem dijelu i bez pomoćnih opruga prikazana je na sl. 190.

Radialne slobodnookretljive spojke upotrebljavaju se za prenošenje momenata vrtnje srednje veličine.

E. Oberšmit

### LEŽAJI

Ležaji su elementi strojeva u kojima osovine i vratila leže na svojim osnacima. Oni drže osovine i vratila u određenom položaju, omogućavaju njihovo okretanje i prenašaju sile, koje pri tome nastaju, na postolje stroja ili na građevni objekt.

Kako je okretanje osnaca u ležajima neizbježno popraćeno trenjem, što uzrokuje gubitak energije i uslijed toga za ove strojne elemente opasno razvijanje topline, temeljni je zahtjev pri njihovoj konstrukciji da se opseg te pojave svede na što manju mjeru. U slučaju kliznih ležaja normalne konstrukcije, praktički kriterij za njihovo dopušteno ugrijavanje u ustaljenom pogonu jest da je trajan dodir dlana ruke s njihovim obočjem podnošljiv (to približno odgovara temperaturi od 60 °C). Iznad takvih temperatura, pogotovo ako one i dalje stalnu rastu, pogon kliznog ležaja nije više siguran. Naravno, poželjno je da temperatura ležaja bude što niža.

Važnost djelovanja trenja za funkciju ležaja uvjetovala je i njihov konstrukcijski razvoj, već prema tome da li se u njima pojavljuje trenje klizanja ili pak valjanja (kotrljanja), pa se i dijele na *klizne* i *valjne* ležaje. U prvima osnaci leže u blazinicama koje ih obuhvaćaju, pa se pri rotaciji pojavljuje samo klizanje. U drugima se, međutim, između osnaca i nepokretnih dijelova nalazi vijenac čeličnih kuglica, valjaka (ravnih ili bačvastih), krnjih stožaca ili tzv. iglica (tankih cilindara), pa se pri rotaciji pojavljuje uglavnom samo valjanje.

S druge strane, kako jedna tako i druga od tih skupina ležaja mogu se također s obzirom na konstrukciju, zbog smjera djelovanja vanjskih sila na njih, podijeliti na tri podskupine, tj. na *radialne*, *aksijalne* i *radialno-aksijalne ležaje*. Prvi se upotrebljavaju kad sile opterećenja djeluju u smjeru okomitom (radijalnom) na vratila, drugi kad one djeluju uzduž vratila, tj. u aksijalnom smjeru, a treći kad istovremeno djeluju radialne i aksijalne sile. (Zbog toga se radialno-aksijalni ležaji ponekad nazivaju kombiniranim.)

### Klizni ležaji

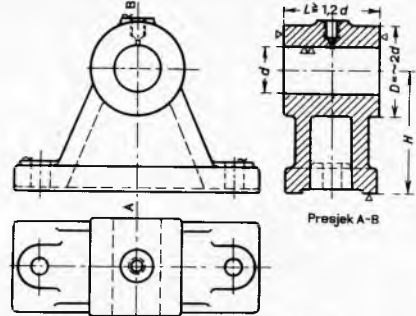
Nekoliko karakterističnih konstrukcija kliznih ležaja prikazano je na sl. 191, 192 i 193. Osim kod najjednostavnijih, jednodijelnih (sl. 191), bitni dijelovi kliznih ležaja jesu dvodijelno obočje (kućište), ležajna salica, blazinica i postolje. Klizni ležaji s dvodijelnim kućištem prikladniji su za montažu jer omogućavaju da se to izvede bez pomicanja vratila. Gornji dio njihovog kućišta (poklopac) spojen je s donjim (tijelom, posteljom) vijcima osiguranim od odvrtanja, koje može nastati kao posljedica vibriranja. Tijelo i postolje izrađuju se u jednom komadu. Obočje treba držati ostale dijelove ležaja i osnac u određenom položaju. Zbog toga se ležaj mora učvrstiti na nekom nepomičnom dijelu stroja ili na temelje, a postolje mora imati rupe za temeljne vijke. Svaki klizni ležaj mora, dakako, biti opskrbljen još i nekim uređajem za podmazivanje.

**Trenje u kliznim ležajima.** Trenje, s time povezano razvijanje topline i zbog toga ugrijavanje kliznog ležaja i osnaca (kad osnac rotira), nastaje uslijed opterećenja nekom vanjskom silom preko osnaca. Najvažniji činitelj u tom procesu jest koeficijent klizanja. On zavisi od materijala osnaca i blazinice, obradenosti (stupnja zaglađenosti) površina tih dijelova, njihove temperature, relativne brzine njihovog gibanja i od vrste i količine maziva među njima. U kliznim ležajima može postojati suho, polusuho, granično (mješovito) i tekuće trenje.

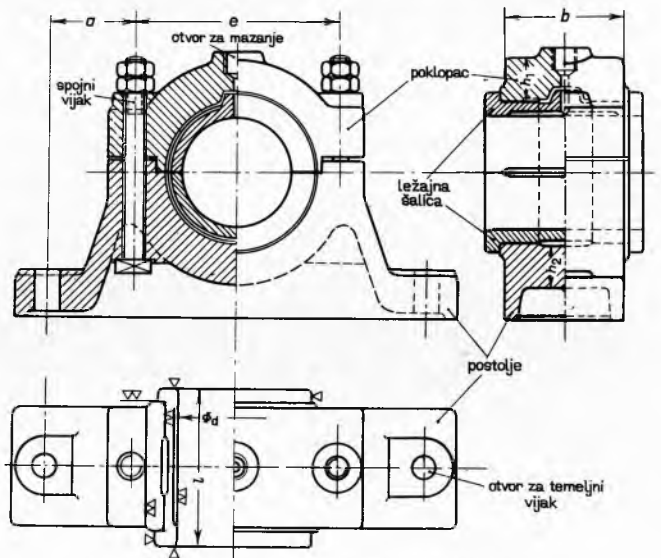
**Suho trenje.** Pod tim nazivom razumijeva se sasvim suho trenje (idealno suho) među sasvim čistim kliznim površinama, ostvarivo samo u laboratoriju, a koje ima samo teoretsko značenje.

Kako je poznato iz fizike, pri tome su važne pojave koje su uzrokovane adhezijom i hrapavošću.

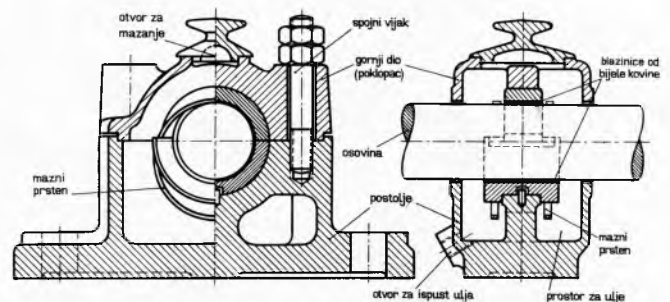
Hrapavost kliznih površina prisutna je u ležajima uvijek u većoj ili manjoj mjeri, jer se njihovi mikroskopski sitni izdanci (grebeni) i uvale ne mogu sasvim ukloniti čak ni najfinijom obradom. Kako se zbog toga dodir kliznih površina ostvaruje uglavnom na plohama grebena, stvarne dodirne površine stotine su i tisuće puta manje od proračunskih (nazivnih), pa lokalno nastaju golemi pritisci i razvijaju se velike količine topline. Naravno,



Sl. 191. Jednodijelni klizni ležaj



Sl. 192. Dvodijelni klizni ležaj normalne konstrukcije



Sl. 193. Dvodijelni klizni ležaj s podmazivanjem prstenovima

djelovanjem tih pritisaka i topline grebeni se postepeno smanjuju, pa pri suhom trenju treba očekivati poboljšavanje dodira kliznih površina s vremenom. Ipak to zaglađivanje ne može preći stanovitu granicu, jer istovremeno dolazi do otkidanja i odrezivanja grebena, što povećava hrapavost. Taj je suprotni efekt to izraziti što su razlike tvrdoće materijala na različitim mjestima kliznih površina veće. Od toga također zavisi da li će deformacije kliznih površina biti više ili manje jednolične. Dakako, što je obrada površina koje klizu uz suho trenje grublja to je i djelovanje tih pojava intenzivnije. Isto vrijedi i za utjecaj adhezije.