

smjeru okretanja. Prema tome

$$S = \frac{M_{tmax}}{M_0}$$

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

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

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

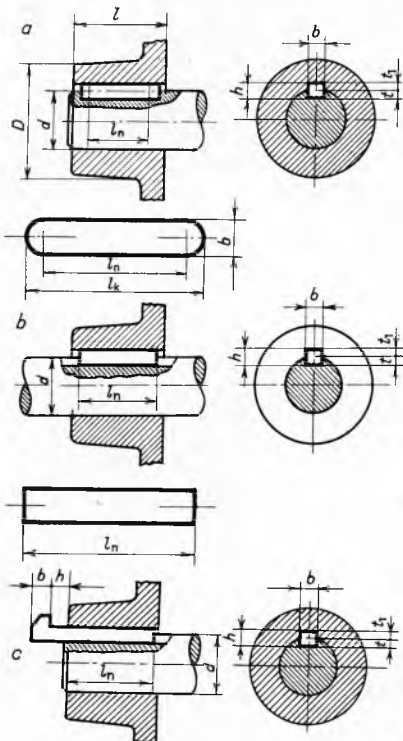
Nagib zakošenih dosjednih površina tih spojeva s trokutastim profilom je 1 : 10.

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.

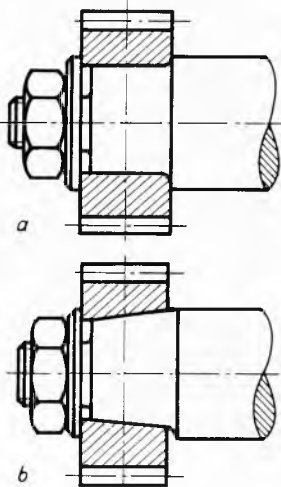
Naročite prednosti spojeva s trokutastim profilima jesu što su sigurni i točni, što osiguravaju dobru koncentričnost i što ne smanjuju čvrstoću oblika dijelova u spoju. Oni sa stožastim dosjednim površinama mogu prenositi i aksijalna opterećenja.

KLINOVI I POVODNA PERA

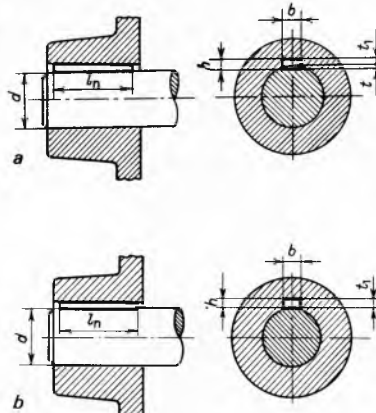
Klinovi i povodna pera jednostavni su elementi strojeva koji služe za izvođenje brzo rastavljivih spojeva namijenjenih prijenosu snage momenta vrtnje (u spojevima s glavinama). Osim po djelovanju u spoju oni se međusobno razlikuju namjenom i oblikom. Klinovi služe za čvrsto spajanje, dok se povodna pera 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.

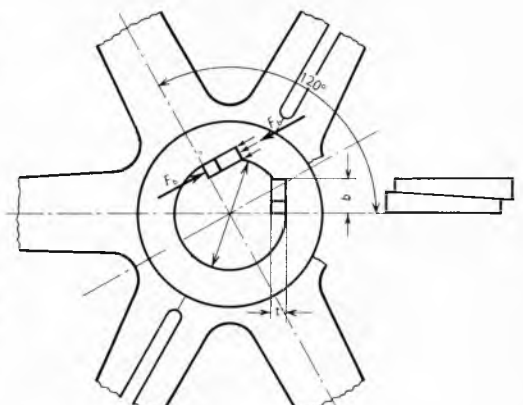
Uzdužni klinovi i njihovi spojevi. Osim kod nekih specijalnih klinova, nagib površine tih elemenata je 1 : 100. Njihovih oblika ima priličan broj, ali se svi mogu svrstati u četiri temeljne skupine, već prema obliku njihovog profila i prema načinu izvođenja njihovih spojeva s obzirom na vratilo. Naime, 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



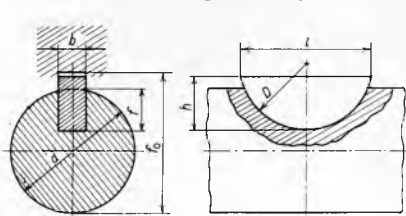
Sl. 150. Tangencijalni klinovi

1,2...1,8. Pri udarnim opterećenjima uzimaju se za 30% veće vrijednosti koeficijenta sigurnosti.

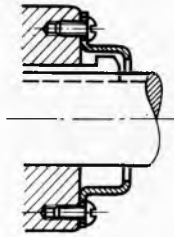
Uturni klinovi upotrebljavaju se za spajanje velikih vratila s glavinama za prijenos velikih opterećenja. Pri upotrebi uložnih utornih klinova (sl. 148 a), koji imaju *zaobljena čela*, to se izvodi tako da se oni ulože u za tu svrhu na vratilu izrađeni utor s oblikom prilagođenim obliku klina, pa se glavina udarcima nabije na klin.

Pri spajanju utornim klinovima s *ravnim čelima* (sl. 148 b) klin se nabija u otvor što ga čine utori glavine i vratila.

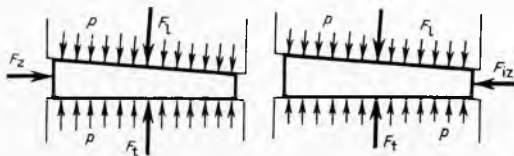
Uturni *kukasti klin* (klin s nosom; sl. 148 c) upotrebljava se za spajanje u slučajevima gdje je neizvedivo ili teško izvedivo izbijanje udaranjem po suprotnom čelu. Za izvlačenje klina tada služi njegova kuka. Kako ona pri okretanju glavine predstavlja opasnost da nekoga ozlijedi ili da zahvati odjeću, mora se pokriti limenim zaštitnim plaštem (sl. 153).



Sl. 151. Segmetni klin



Sl. 153. Zaštitni limeni plašt kukastog klina



Sl. 152. Djelovanje sila i pritisaka u spoju klinom

Plosnati (tetivni) klinovi ne mogu prenositi tolika opterećenja kao što mogu utorni, jer ih prenose samo jednom stranom, a ne još i bokovima.

Obični plosnati klin prikazan je na sl. 149 a. Njegova kukasta izvedba sasvim je slična normalnom kukastom klinu, pa zato nije prikazana slikom.

Udubljeni klinovi (sl. 149 b) razlikuju se od utornih i plosnatih po tome što stvaraju spojeve naponom i oblikom samo s obzirom na glavinu. Njihov spoj s vratilima ima samo naponski karakter. Za tu svrhu njihove dosjedne površine s vratilom prilagodene su promjeru vratila. Polumjer im je dosjeda standardiziran za pojedine skupine promjera vratila. Zbog takvog spoja s vratilom ti su klinovi prikladni samo za prijenos malih opterećenja (još manjih od opterećenja koja mogu prenositi plosnati klinovi), pa se upotrebljavaju samo za spajanje s vratilima najviše do 150 mm promjera. Prednost im je u tome što su njihovi spojevi jeftiniji, a mana što nisu naročito sigurni.

Tangencijalni klinovi zauzimaju posebno mjesto među klinovima. Od ostalih uzdužnih razlikuju se i nagibom zakošenih površina, koji je obično 1 : 60 do 1 : 100. Oni se uvijek upotrebljavaju u parovima (v. sl. 150). Služe za prijenos velikih obodnih sila i momenata okretanja promjenljivog smjera. Pri tome jedan par tangencijalnih klinova prenosi moment u jednom, a drugi par u drugom smjeru. Položaji tih parova s obzirom na vratilo pomaknuti su međusobno pod kutom od 120° (rjeđe pod 180°). Vrlo su pogodni i za prijenos udarnih opterećenja.

Poprečni klinovi najviše se upotrebljavaju za aksijalno spajanje dijelova koji se giblju pravocrtno, npr. stapajica s križnim glavama (sl. 154) u velikim stepnim strojevima. Osim toga upotrebljavaju se i za spajanje dvodijelnih zamašnjaka, teških okvira, velikih zupčanika i za neke druge vrste čvrstih spojeva (npr. kao na sl. 155).

Dva osnovna oblika poprečnih klinova prikazana su na sl. 156. Njihova debljina općenito je mala, da ne bi odviše oslabljivala dijelove spoja, a širina im je razmjerno velika, da bi imali veću otpornost na savijanje. Za izradu poprečnih klinova obično

služe čelici s čvrstoćom $\sigma_L \approx 60 \text{ kp/mm}^2$. Klin se postavlja na svoje mjesto, odnosno izbija se udarcima čekića, a da ne bi nastalo oštećenje tijela klina, on se izrađuje sa zaobljenim čelima.

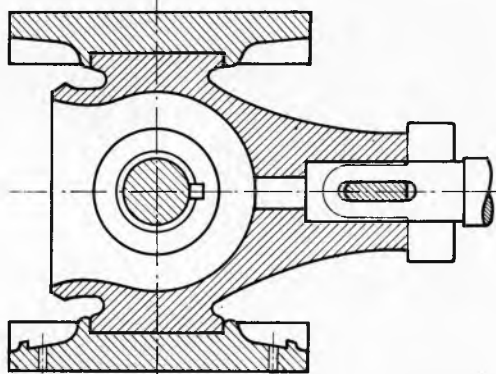
Zbog potrebe da dosjedne površine tih spojeva budu prilagođene jedna drugoj, primjena poprečnih klinova najčešće je ograničena na slučajeve u kojima se ne traži često rastavljanje. Da se ti spojevi ne bi trebali posebno osiguravati, od klinova se traži da budu samokočni (s nagibom 1 : 10 do 1 : 25).

Poprečni klinovi s dvostranim nagibom općenito se izbjegavaju, jer su zbog teže izrade skuplji od onih s nagibom na samo jednoj strani.

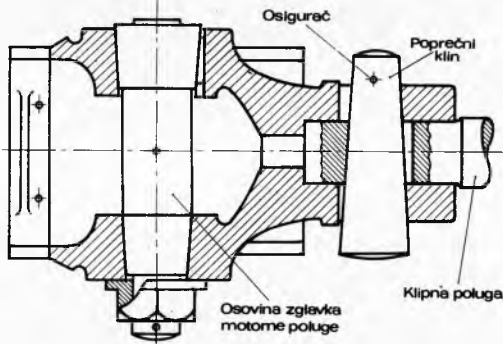
Za spojeve s poprečnim klinovima koje je ipak potrebno češće rastavljati, klinovi se izrađuju s većim nagibima. Tada je potrebno osiguranje da klin ne bi iskočio, što se obično čini zatikom ili vijkom.

Poprečni klinovi nisu standardizirani pa se njihovi spojevi proračunavaju.

Proračuni spojeva poprečnim klinovima razlikuju se ponešto od slučaja do slučaja. Međutim, smjernice za osnovni proračun tih spojeva ostaju, u načelu, za sve slučajeve iste.



Sl. 154. Spoj križne glave i klipne poluge poprečnim klinom. 1 Križna glava, 2 klipna poluga, 3 poprečni klin, 4 zatik



Sl. 155. Spoj dviju strojnih poluga s pomoću dva klina

Dosjedne površine klina i dijelova, koji on spaja, opterećene su na bočni površinski pritisak, a klin još i na savijanje i smik. Prema sl. 155 i 157 površinski pritisak na površini A_1 iznosi

$$p_1 = \frac{F}{A_1} = \frac{F}{b d_1} \leq p_{\text{dop}},$$

a na površini A_2

$$p_2 = \frac{F}{A_2} = \frac{F}{b(D - d_1)} \leq p_{\text{dop}}.$$

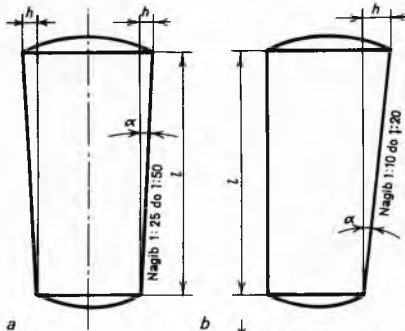
Iz jednadžbe momenta, dobije se maksimalni moment savijanja na klinu $M_{\max} = \frac{FD}{8} = W \cdot \sigma_{s, \text{dop}}$, a odatle uz moment otpora pravokutnog presjeka klina $W = \frac{bh^2}{6}$ izlazi srednja širina klina

$$h = \sqrt{\frac{3FD}{4b\sigma_{s, \text{dop}}}}$$

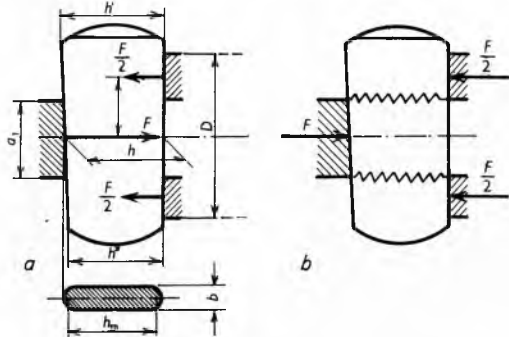
Dužina klina l (sl. 156) uzima se konstruktivno prema potrebi, dok mu je debljina $b = \varphi d_1$, gdje je faktor $\varphi = 0,25 \dots 0,3$. Opterećenje klina na smik djeluje u dvjema ravninama, prikazanim na sl. 157 b valovitim crtama. Najveće naprezanje na smik iznosi

$$\tau_s = \frac{3F}{2 \cdot 2A} = \frac{3F}{4bh} \leq \tau_{s, \text{dop}}$$

gdje su oznake već objašnjene prije, dok je $A = bh$ površina jednog presjeka izloženog smicanju. Naprezanje na smik nije toliko mjerodavno za proračun poprečnih klinova, jer je znatno manje od naprezanja na savijanje, pa se zato može zanemariti.



Sl. 156. Osnovni oblici poprečnih klinova: dvo-nagibni, b jednonagibni poprečni klin



Sl. 157. Poprečni klin. a Djelovanje sile na jednonagibnom poprečnom klinu, b površine klina izložene smicanju

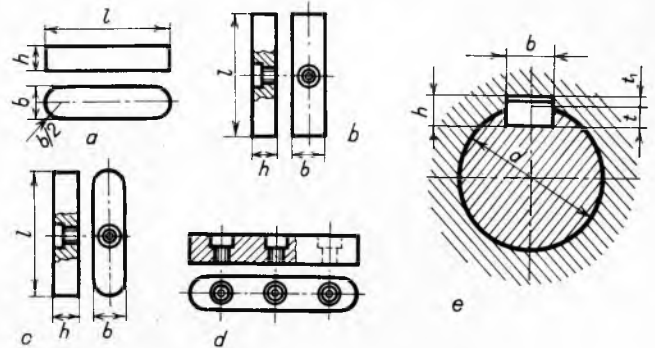
U praksi se, naime, ustanovilo da se poprečni klinovi savijaju uslijed iznenadnih preopterećenja prije nego li počne njihovo smicanje.

Kompletni proračuni spojeva s poprečnim klinovima obuhvaćaju još i kontrolu amplitude naprezanja na savijanje i kontrolu sigurnosti od plastičnih deformacija, odnosno loma uslijed zamora materijala.

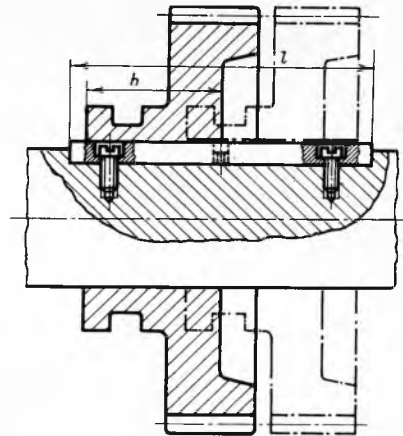
Povodna pera (klinovi bez nagiba). Osim za poprečno učvršćenje aksijalno pomičnih dijelova na vratila ili osovine, povodna pera služe i kao elementi za precizno naglavlivanje na određeno mjesto i kao zamjena uzdužnim klinovima tamo, gdje je potrebno izbjeći ekscentricitet spoja. Da bi mogla zadovoljiti zahtjeve u pogledu točnosti i otpornosti koji se u tim slučajevima postavljaju, povodna se pera izrađuje od vučenog čelika čvrstoće $\sigma_t \approx 60 \text{ kp/mm}^2$, s preciznošću izrade većom nego kod klinova. Pera su standardizirana. Kako opterećenje u njihovim spojevima

prenose samo bočne strane pera, njihova primjena ograničena je na slučajeve u kojima momenti okretanja ne prelaze stanovite srednje veličine. Povodna pera također nisu elementi prikladni za prenošenje promjenljivih i udarnih opterećenja, jer djelovanje visokih pritisaka na njihove bokove dovodi do oslabljenja spoja. S obzirom na funkciju u spoju ti se elementi obično dijele na fiksirna i klizna pera koji čine jednu skupinu, i na segmentne, klinove koji čine drugu skupinu.

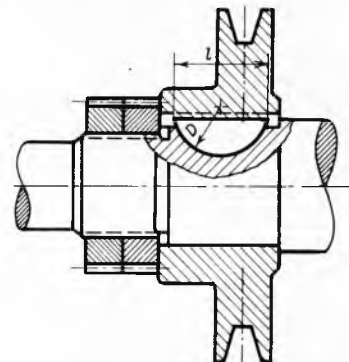
Fiksirna i klizna pera. Nekoliko najvažnijih oblika fiksirnih pera prikazano je na sl. 158. Kako se vidi iz presjeka (sl. 158 e) tih spojeva, između gornje površine pera i glavine postoji zračnost



Sl. 158. Neki oblici fiksirnih pera: a s poluokruglim čelima, bez steznog vijka; b s ravnim čelima i steznim vijkom; c s poluokruglim čelima i steznim vijkom; d s poluokruglim čelima, steznim vijkom i dva vijka za odvajanje; e presjek spoja perom



Sl. 159. Spoj glavine uzdužnopomičnog zupčanika s vratilom izveden s pomoću kliznog pera. h Dužina glavine zupčanika, l dužina utora i pera



Sl. 160. Jedan primjer spoja segmentnim klinom

koja omogućuje slobodno pomicanje elementa. Spoj kliznim perom, koji omogućava pomicanje glavine uzdužno po vratilu, prikazan je na sl. 159. Pero je u tom spoju pričvršćeno za dno utora s pomoću dva upuštena vijka, a među njima je provrt s navojem za vijak za podizanje pera iz utora.

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

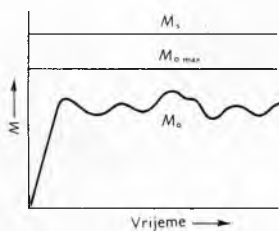
Spojke su dijelovi strojeva koji se upotrebljavaju za međusobno spajanje vratila ili osovina, kao i dijelova koji su montirani na tim elementima (npr. zupčanika remenica). Pri tome svrha tih spojeva može biti prenošenje momenta okretanja M_o , ili torzije M_t , što je zapravo jedno te isto, s pogonskog 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, φ tzv. faktor nejednoličnosti ili faktor udara, P snaga koja se prenosi, n broj okretaja vratila, ω kutna brzina. Za određivanje momenta potrebno je, osim snage koja se prenosi, poznavati još i veličinu φ , koja se obično uzima iz priručnikâ a na osnovi podataka stečenih iskustvom. U njima se φ daje u zavisnosti od vrste vodećeg 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 φ 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.

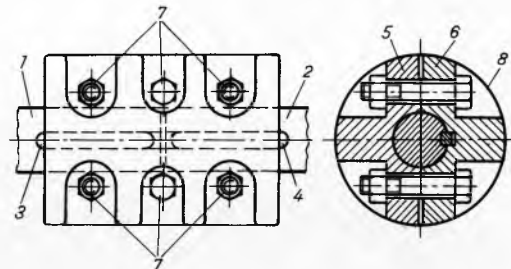
U ovom članku prihvaćena je klasifikacija spojka s obzirom na njihovu podjelu na neelastične, elastične, isključne i specijalne, jer pregledno obuhvaća čitavo područje spojka. Zbog njegove opsežnosti bilo je nužno ograničiti se na najvažnije izvedbe i opise njihovog funkcioniranja, dok se načini proračunavanja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

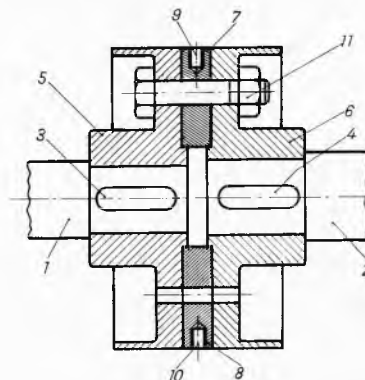
Školjkasta spojka (sl. 162) sastoji se od dviju međusobno (sa 4 do 8 vijaka) stegnutih polovina. Glave i matice vijaka postavljaju se naizmjenično radi smanjenja dužine spojke. Vijci su tako upu-



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 uloška, 9, 10 provrti s navojem za izvlačenje uloška, 11 stezni vijci

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