

ravnotežu poprečnoj sili F_s . U tom slučaju vijak će biti izložen uzdužnoj vlačnoj sili F stvorenoj pritezanjem matice, koja se može naći iz uvjeta, da je $\mu F \geq F_s$, tj.

$$F = \frac{F_s}{\mu},$$

gdje je koeficijent kliznog otpora $\mu = 0,1 \dots 0,2$. Prema tome vlačno naprezanje u njegovoj jezgri iznosi

$$\sigma_v = \frac{F}{\pi d_1^2/4},$$

a potreban presjek jezgre izračuna se iz

$$A_1 = \frac{F}{\sigma_{v \text{ dop}}}$$

Takvi vijci kod kojih je $d_0 > d$ zovu se *neprilagođeni vijci*. Oni su upotrebljivi za poprečne sile samo kod slučajeva manje-više mirnih opterećenja. Kod promjenljivih opterećenja ili vibracija smanjila bi se uzdužna sila u vijku uslijed popuštanja matice, pa bi vijak bio izložen smicanju i savijanju. Zato za preuzimanje poprečnih sila kod promjenljivih opterećenja služe tzv. prilagođeni vijci.

Drugi način sastoji se u spajanju ploča ili limova tim *prilagođenim vijcima*, kod kojih je promjer struka vijka d_s jednak promjeru rupe d_0 (sl. 53 b). Prema tome između vijka i ploča nema nikakve zračnosti, tako da struk vijka potpuno pristaje uz provrt. U tom je slučaju struk vijka opterećen poprečnim silama F_s na smicanje, pa je naprezanje smika jednako

$$\tau_s = \frac{F_s}{\pi d_s^2/4}$$

Prema tome prilagođeni se vijci proračunavaju na smicanje, jer tu struk igra glavnu ulogu, a navoj vijka sporednu buduću da matica u tom slučaju nije jako pritegnuta. Potrebna površina presjeka struka prilagođenih vijaka $A = \frac{\pi d_s^2}{4}$ određuje se iz

$$A = \frac{F_s}{z \tau_{s \text{ dop}}}$$

gdje je F_s poprečna sila koja otpada na jedan vijak, z broj presjeka izloženih smicanju, $\tau_{s \text{ dop}}$ dopušteno naprezanje na smik. Odatle se dobije potreban promjer struka

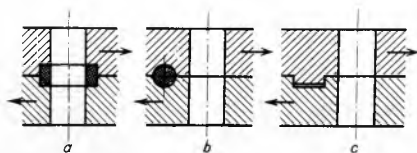
$$d_s = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Poslije toga mora se kontrolirati površinski pritisak između struka vijka i stijenki provrta prema izrazu

$$p = \frac{F_s}{d_s b} \leq p_{\text{dop}}$$

gdje je F_s poprečna sila u jednom smjeru, koja djeluje na ukupnu debljinu b spojenih elemenata. Na sl. 53 b su dvije spojene ploče debljine b' i b'' ; u račun treba uvrstiti manju debljinu b .

Treći način. Najteže i najnepovoljnije je za vijak istovremeno opterećenje poprečnim i uzdužnim silama. Taj se način sastoji u rasterećenju vijka od poprečnih sila, odnosno u njihovom onemogućavanju da na njega djeluju. To se postizava konstruktivnim elementima i mjerama (sl. 54). Tako npr. sl. 54 a prikazuje umet-



Sl. 54. Sredstva za rasterećenje vijka od poprečnih sila. a) Cilindrični prsten, b) zatik, c) stepenasta izbočina

nuti cilindrični prsten oko struka vijka, sl. 54 b okrugli zatik, sl. 54 c stepenastu izbočinu. U takvim slučajevima vijci preuzimaju na sebe jedino uzdužnu silu u spoju, prema kojoj se oni i proračunavaju na već prikazani način. Dijelovi koji preuzimaju poprečne

sile (prsten, zatik itd.) treba proračunavati na smicanje i kontrolirati površinski pritisak na njihovim dosjednim površinama.

ZATICI I SVORNJACI

Zatici su jednostavni, razmjerno tanki elementi strojeva manje-više valjkastog ili stožastog oblika koji služe za brzo i jednostavno spajanje dijelova u lako rastavljivi spoj. Osim toga namjena zatičnog spoja može biti i pričvršćivanje, držanje, centriranje, osiguranje i prenošenje sila i zakretnih momenata. Time zatici služe kao dobra zamjena klinovima i vijcima, naročito dosjednim.

Svornjaci su zaticima slični deblji elementi strojeva, koji većinom služe za zglobno spajanje dijelova.

Spajanje zaticima i svornjacima najjednostavniji je i najstariji oblik spajanja u strojogradnji uopće. Izvodi se jednostavnim provlačenjem tih elemenata kroz provrt izbušen kroz dijelove koje treba spojiti.

Zatici se međusobno razlikuju oblikom i namjenom. Prema podjeli zatika na toj bazi, razlikuju se jednostavni zatici i zatici za podešavanje i za čvrste spojeve. Kao jednostavni zatik može već poslužiti i obična žica. Bolji jednostavni zatik jest rascjepka (v. str. 226). Zatici za podešavanje i čvrste spojeve mogu se podijeliti na pune i šuplje cilindrične, konične i zatičke sa zasjekom.

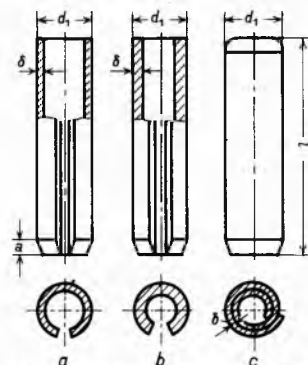
Puni cilindrični zatici. Nekoliko najvažnijih oblika ovih zatika prikazano je na sl. 55. Zatik na sl. 55 a najviše služi za dosjed kojim se fiksira međusobni položaj strojnih dijelova u vijčanom spoju u kojem između vijaka i stijenki njihovih provrta postoji zračnost. Da bi se olakšala montaža i demontaža, obično je tada dosjed u jednome od spojnih dijelova čvrst, a u drugome klizan. Zatici za tu namjenu obično se izrađuju od čvršćeg materijala (npr. Če 60.11) s poljem tolerancije m6.

Zatici na sl. 55 b najviše služe za spajanje i pričvršćivanje, pri čemu se provrti obično buše, a nekad i razvrtaju. Obično se izrađuju s poljem tolerancije h8. Zatici s ravnim krajevima (sl. 55 c) upotrebljavaju se kao svornjaci za zglobne spojeve. Pri tome u njihovim dosjedima mora postojati zračnost, a krajevi se zakivaju. Obično se izrađuju s poljem tolerancije h11. Šupljiji cilindrični zatici mogu biti sa ili bez procjepa. Glavni nedostatak zatika bez procjepa u tome što je potrebna velika točnost izrade dosjeda.

Šuplji zatici s procjepom (sl. 56) nemaju tog nedostatka.

Budući da je promjer tih zatika u nenapregnutom stanju nešto veći od promjera provrta pri zabijanju oni se elastično deformiraju. Time se postiže tlak u zatičnom spoju potreban za preuzimanje poprečnih opterećenja u vijčanim spojevima. Za tu namjenu izrađuju se takvi zatici od dobrog pernog čelika. Ti zatici podnose i veća naprezanja na odrez a mogu izdržati i do 100 zabijanja, odnosno izbivanja bez gubitka naponske veze. Pogotovo to vrijedi za teške izvedbe (sl. 56 b). Još veću otpornost na odrez imaju spiralni šupljiji cilindrični zatici s procjepom (sl. 56 c) koji stvaraju jednolični tlak u spoju, pa su prikladni za preuzimanje dinamičkih opterećenja.

Sl. 56. Oblici šupljih cilindričnih zatika s procjepom: a) laka izvedba, b) teška izvedba, c) spiralna izvedba

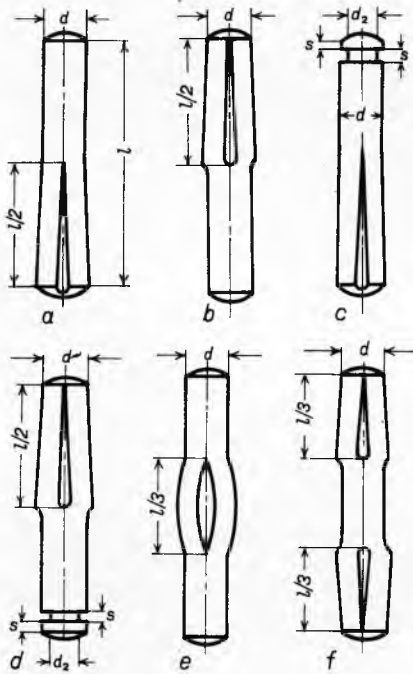


Sl. 56. Oblici šupljih cilindričnih zatika s procjepom: a) laka izvedba, b) teška izvedba, c) spiralna izvedba

Dalja prednost šupljih cilindričnih zatika s procjepom je ta, što su sigurniji od ispadanja. Jedini je njihov nedostatak što se ne mogu upotrijebiti tamo gdje se traži velika točnost.

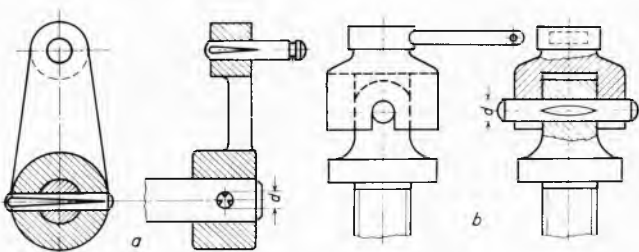
Zatici sa zasjecima (puni naponski zatici) dobivaju se usijecanjem na plaštu cilindričnih zatika triju uzdužnih brazda međusobno razmaknutih pod kutom od 120° . Neki oblici tih zatika prikazani su na sl. 57.

Djelovanje takvih zatika slično je djelovanju šupljih naponskih, jer, kad se zabiju, deformirani rubovi njihovih zasjeka tlače stijenke provrta i time uzrokuju njihovu elastičnu deformaciju. Zbog toga provrta za te zaticke ne treba prilagođavati razvrtnjem, dovoljno je da se izbuše. Izdržljivost im je u usporedbi sa šupljim naponskim zaticima manja. (Demontaža i montaža spoja može se ponoviti do 25 puta.) Ti zatici izrađuju se obično od čelika ČE 50.11 do ČE 70.11 (stare oznake JUS).



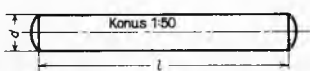
Sl. 57. Oblici zatika sa zasjecima: a dosjedni, b granični dosjedni, c za vlačne opruge i lance, d za ručice i polužja, e za zglobove, f dvostruki osni

Kako su vrlo jednostavni i jeftini, upotreba tih zatika vrlo je raširena u strojarstvu. Nekoliko od vrlo velikog broja primjera spojeva s tim zaticima prikazano je na sl. 58.



Sl. 58. Primjeri spoja pomoću zatika. a Spojevi ručice pomoću zatika sa zasjecima, b zglobni spoj ručice pomoću zatika sa zasjecima

Stožasti zatici predstavljeni su primjerom na sl. 59. Služe, kao i puni cilindrični zatici, za spajanje dijelova s međusobno fiksnim položajem, ali tamo gdje je potrebna veća točnost dosje-

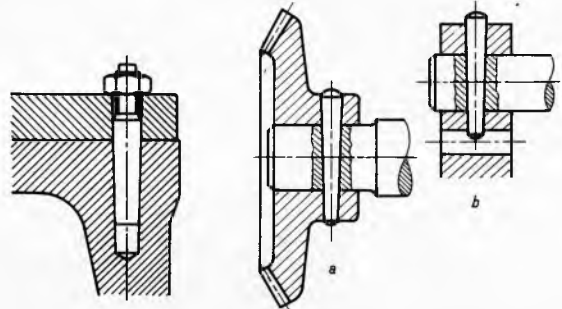


Sl. 59. Obični stožasti zatic

danja (npr. u alatnim strojevima), naročito kad se takvi spojevi često rastavljaju i ponovno sastavljaju. Njihov oblik, naime, omogućava lako izvlačenje i ponovno utiskivanje bez oštećivanja dosjed-

njih površina. Zbog toga se rastavljanje i sastavljanje spojeva s istim stožastim zaticima može izvoditi praktički neograničeni broj puta.

Pri izvlačenju stožastih zatika može jedino biti teško uhvatiti zatic. Tada se upotrebljava zatic s vijčanim nastavkom i maticom, prikazan u spoju za osiguranje položaja na sl. 60, ili zatic sa središnjim unutrašnjim provrtom u čiju stijenku je urezan navoj, što omogućava njegovo izvlačenje s pomoću vijka.



Sl. 60. Stožasti zatic s vijčanim nastavkom u spoju za osiguranje položaja

Sl. 61. Primjeri spojeva sa stožastim zaticima. a Spoj zupčanika s vratilom, b spoj s obostranim pristupom zaticu

Lako izvlačenje stožastih zatika ujedno je i njihov nedostatak, jer može biti uzrok njihovog ispadanja.

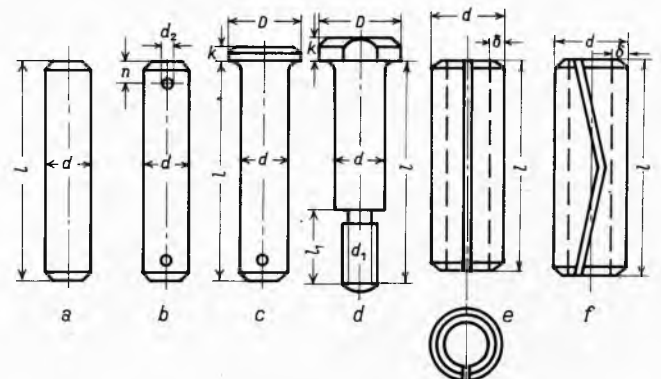
Dva primjera spoja sa stožastim zaticima prikazana su na sl. 61. Namjena spoja na sl. 61 a jest ne samo pričvršćenje zupčanika na vratilo, već i osiguranje protiv uzdužnog pomicanja zupčanika po vratilu. Obostrani pristup zaticu u spoju na sl. 61 b olakšava njegovo izvlačenje.

Zbog skupoće i drugih nedostataka spojevi sa stožastim zaticima malo se upotrebljavaju.

Svornjaci. Prije spomenuta osnovna funkcija svornjaka postavlja nekoliko zahtjeva na spoj koji se izvodi s pomoću tih elemenata. Na prvom mjestu, da bi on mogao djelovati kao zglob, njegov svornjak i element s provrtom moraju biti od prikladnog materijala, izrađeni s prikladnom točnošću. Materijal svornjaka najčešće su Č0545, Č0645 i Č1430, a za više zahtjeve, npr. za svornjake za stapove služe čelici za cementiranje Č4120, Č4320, Č4321. Provrti za te svornjake moraju biti kaljeni. U svakom slučaju stanovita zračnost između svornjaka i stijenki provrta neophodna je za ispravnu funkciju zgloba, a zbog toga je potrebno osiguranje svornjaka od ispadanja. Osim toga zbog kliznog trenja u takvom spoju važno je i podmazivanje.

Oblici svornjaka prilagođuju se tim zahtjevima, a na tim oblicima temelji se klasifikacija tih elemenata. Nekoliko najvažnijih oblika svornjaka prikazano je na sl. 62. Obično se dijele na jednostavne pune, jednostavne pune s rupama ili urezima za osiguranje, pune s glavom, pune s glavom i navojem te šuplje s prosjekom (elastični svornjaci).

Jednostavni puni svornjaci (sl. 62 a) slični su zaticima. Upotrebljavaju se u spojevima u kojima su s obje čelne strane ograničeni drugim elementima protiv ispadanja.



Sl. 62. Oblici svornjaka: a jednostavni puni, b jednostavni puni s provrtima za osiguranje, c puni s glavom i provrtom za osiguranje, d puni s glavom i vijčanim nastavkom, e elastični šuplji s procjepom, f elastični šuplji s lomljenim procjepom

Jednostavni puni svornjaci s rupama za osiguranje prikazani su na sl. 62 b. Rupe su radi osiguranja ispadanja zaticak.

Puni svornjaci s glavom (sl. 62 c). Za njihovo osiguranje od ispadanja s jedne strane služi glava, a s druge obično rupa za zaticak.

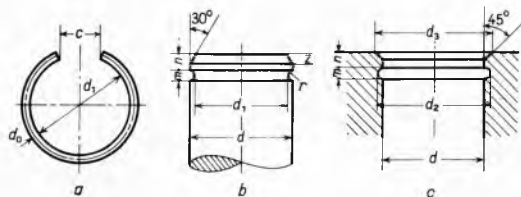
Puni svornjaci s glavom i navojem (sl. 62 d) svojim oblikom zapravo su dosjedni vijci, i samo obavljaju funkcije svornjaka. Služe za izvedbu točnih zglobnih spojeva i stezanje ključem, zbog čega imaju posebno oblikovanu glavu.

Šuplji svornjaci upotrebljavaju se za spojeve u kojima je važno da budu lagani (npr. za zglobove stapova kod eksplozivnih motora; v. sl. 65).

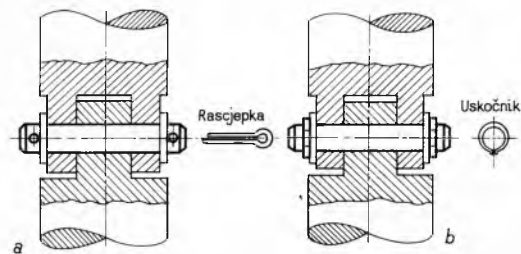
Elastični svornjaci (sl. 62 e) s uzdužnim pravocrtnim pro-cjepom djeluju slično šupljim zaticima s presjekom. Upotreba im je vrlo raširena, naročito u zglobovima izloženim trešnji, promjenljivim ili udarnim opterećenjima.

Još su kvalitetniji šuplji svornjaci s uzdužnim lomljenim pro-cjepom (sl. 62 f), koji ih osigurava od aksijalne deformacije.

Spojevi svornjacima i njihova osiguranja. Spojevi svornjacima toliko su rašireni u strojarstvu, a načini njihovog osiguranja toliko raznoliki, da se u ovom članku njihovo opisivanje mora ograničiti na nekoliko tipičnih primjera.



Sl. 63. Osiguranje spoja svornjakom elastičnim žičanim prstenom. a Prsten za osiguranje, b oblik kraja svornjaka, c oblik provrta za svornjak



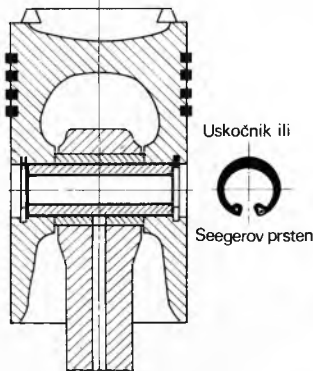
Sl. 64. Osiguranje spoja svornjakom: a rascjepkom, b Seegerovim prstenom (uskočnikom)

Jedan od najjednostavnijih načina osiguranja spoja svornjakom jest s pomoću elastičnog žičanog prstena (sl. 63 a) koji se ulaže u plitki urez u provrtu (sl. 63 c), ili se navlači na svornjak (sl. 63 b) koji također ima urez u koji sjedne prsten.

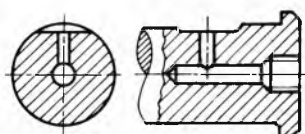
Također vrlo jednostavno osiguranje spoja svornjakom s pomoću rascjepke kao zatika prikazano je na sl. 64 a.

Na sl. 64 b prikazan je spoj svornjakom, osiguran Seegerovim prstenom (uskočnikom). Ti se prstenovi obično izrađuju od pernog čelika visoke kakvoće, a za specijalne namjene od kositrene ili berilijumske bronce.

Ugrađuju se s pomoću posebnih kliješta s kojima se rašire i navuku na svornjak ili, kao u slučaju prikazanom na sl. 65, stišnu i uvuku u provrt. Nakon što se puste, oni elastično sjednu u urezu



Sl. 65. Osiguranje svornjaka unutar provrta pomoću uskočnika



Sl. 66. Svornjak s provrtom za podmazivanje

U slučajevima gdje je potrebno podmazivanje zgloba spojenog svornjakom, svornjak ima provrte i navoj za pričvršćenje mazalice (sl. 66).

Proračunavanje spojeva zaticima i svornjacima. Kod proračunavanja tih spojeva treba voditi računa o načinu njihovog opterećenja, o materijalima spoja i o njegovoj ulozi pri radu stroja. Zbog raznolikosti mnogih slučajeva u ovom članku nemoguće je dati neke opće smjernice za proračun tih spojeva, već će biti pokazano nekoliko tipičnih primjera, koji se često susreću u praksi.

Proračun zglobnog spoja zaticima i svornjacima. Kao primjer tog proračuna može poslužiti spoj poluge s viljuškom prikazan na sl. 67. Uzdužna sila F_1 opterećuje dosjedne površine poluge i svornjaka tlakom p_p , dosjedne površine viljuške i svornjaka tlakom p_v . Naprezanje svornjaka na savijanje, prema poznatom izrazu iz nauke o čvrstoći, jednako je

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} \leq \sigma_{s\text{ dop}}$$

gdje je M_s moment savijanja svornjaka, pri čemu se on smatra kao nosač opterećen na dužini L , W moment otpora njegovog kružnog presjeka, a $\sigma_{s\text{ dop}}$ dopušteno naprezanje na savijanje. Podaci za materijal svornjaka nalaze se u tablicama priručnika. Odatle je potreban promjer svornjaka

$$d = \sqrt[3]{\frac{F_1 L}{0,4 \sigma_{s\text{ dop}}}}$$

Potrebne dimenzije dosjednih površina izračunavaju se iz navedenih površinskih pritisaaka kako slijedi:

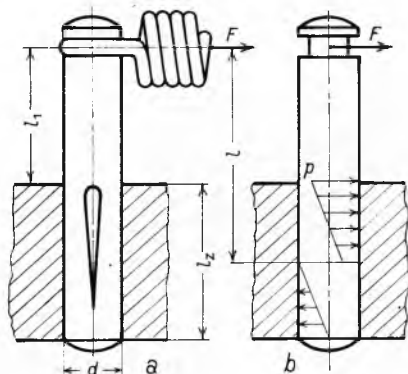
$$p_p = \frac{F_1}{l_p d} \leq p_{\text{dop}}$$

$$p_v = \frac{F_1}{2 l_v d} \leq p_{\text{dop}}$$

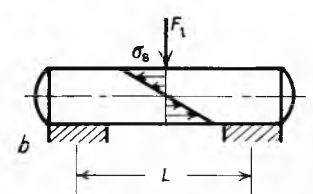
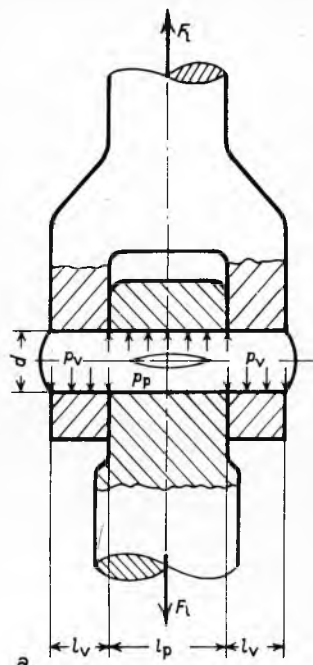
gdje je l_p i l_v imaju značenje prikazano na sl. 67.

Proračun strojnih spojeva zaticima opterećenim na savijanje. Kao primjer primjene tog proračuna može poslužiti zatični spoj vlačne opruge na sl. 68. Potreban promjer d zatika za taj slučaj može se izračunati na sličan način kao u prethodnom primjeru. Pri tome se dobija

$$d = \sqrt[3]{\frac{F l_1}{0,1 \sigma_{\text{dop}}}}$$



Sl. 68. Zaticak opterećen na savijanje. a Slika opterećenja, b raspodjela pritiska



Sl. 67. Zglobni zaticak ili svornjak. a Površinski pritisak, b naprezanje na savijanje

gdje je F vlačna sila opruge, a l_1 ima značenje prikazano na sl. 68 a.

Međutim, u tom slučaju površinski pritisak p u spojenom dijelu nastaje istodobnim djelovanjem savijanja i vlačne sile opruge, pa je

$$p = \frac{M_s}{W} + \frac{F}{A} \leq p_{\text{dop}},$$

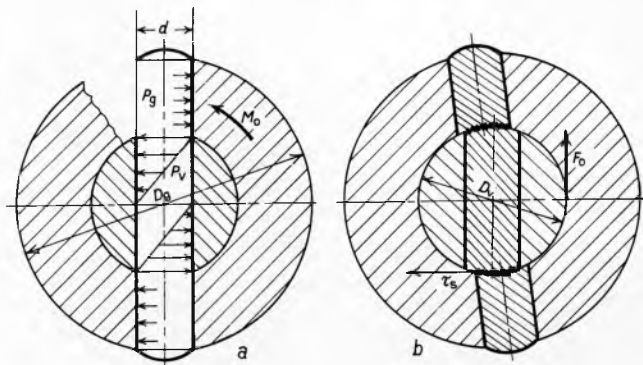
gdje je W moment otpora presjeka izloženog savijanju, a A površina tog presjeka. Odatle se mogu izračunati potrebne dimenzije provrta, kad se prema pravilima nauke o čvrstoći prethodna formula napiše u obliku

$$p = \frac{F}{d l_z} \left(6 \frac{l}{l_z} + 1 \right),$$

gdje je l i l_z imaju značenje prikazano na sl. 68 a i b.

Proračun spoja zaticima izloženim djelovanju momenta okretanja. Kao primjer tog proračuna može poslužiti spoj glavine vratila prikazan sa presjecima na sl. 69. U tom slučaju moment okretanja

$$M_o = \frac{F_o D_v}{2},$$



Sl. 69. Sile i naprezanja u zatičnom spoju vratila s glavinom izloženom djelovanju momenta okretanja

gdje je F_o poznata djelujuća obodna sila, koja uzrokuje naprezanje zatika na smicanje τ_s , površinske pritiske u dosjedu vratila p_v i glavine p_g sa zaticom a također i torzijsko naprezanje vratila. Prema pravilima nauke o čvrstoći tu je

$$\tau_s = \frac{F_o}{2A} \leq \tau_{s \text{ dop}},$$

gdje je $A = \frac{d^2 \pi}{4}$ površina presjeka zatika, pa je s time određen njegov potrebni promjer d .

Površinski pritisak p_v u dosjedu vratila i zatika, odgovara naprezanju na savijanje što ga uzrokuje moment M_o u uzdužnom, pravokutnom presjeku dijela zatika unutar provrta u vratilu, tj. također je količnik tog momenta i odgovarajućeg otporskog momenta. Odatle se može izvesti da je

$$p_v = 3 \frac{F_o}{D_v d} \leq p_{v \text{ dop}},$$

i s time izračunati potrebni promjer vratila D_v . Dakako, taj D_v treba još kontrolirati na torzijsko naprezanje formulom

$$p_g = \frac{F_o}{(D_g - D_v) d} \leq p_{g \text{ dop}},$$

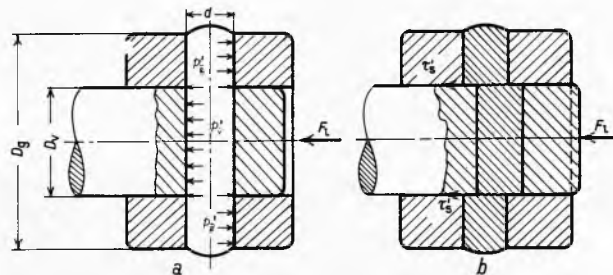
kojom je određen površinski pritisak u dosjedu glavine i odakle se može izračunati njezin potrebni promjer D_g (sl. 69).

Proračun spoja poprečnim zaticom izloženog djelovanju uzdužne sile. Takvi slučajevi (sl. 70) nastaju u spojevima vratila s nekim strojnim elementom s pomoću zatika. Tu je zatik također opterećen na smik, pri čemu se u njemu javlja naprezanje τ_s a na površinama njegovog dosjeda s vratilom i glavinom javljaju se tlakovi p'_v , odnosno p'_g . Za izračunavanje τ'_s i p'_g mogu se i u tom slučaju upotrijebiti formule iz prethodnog slučaja, ako se

tlak τ_s zamijeni sa τ'_s , p_g sa p'_g , a obodna sila F_o uzdužnom silom F_1 . Površinski tlak u dosjedu vratila i zatika tu je izražen sa

$$p'_v = \frac{F_1}{D_v d} \leq p_{v \text{ dop}}.$$

S time su ujedno određene sve dimenzije spoja koje treba izračunati.



Sl. 70. Sile i naprezanja u zatičnom spoju vratila s glavinom izloženom djelovanju uzdužne sile

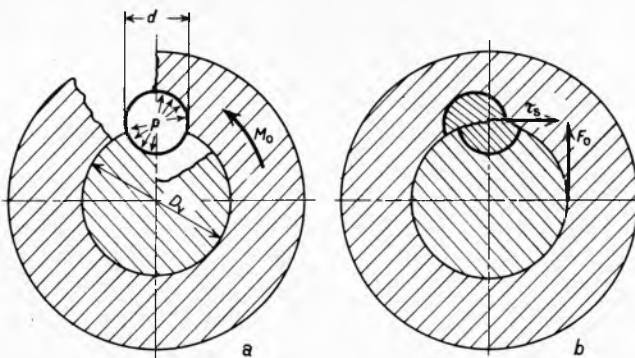
Proračun spoja uzdužnim zaticom izloženog djelovanju momenta okretanja. Takav slučaj (sl. 71) nastaje kod spojeva vratila s glavinom s pomoću uzdužnog klina. Tu zatik ima funkciju klina, pa se i naziva okruglim klinom. On je opterećen na smik, a u dosjedima vratila i glavine sa zaticom javljaju se površinski pritisci. Naprezanje na smik je u tom slučaju jednako

$$\tau_s = \frac{F_o}{d l} \leq \tau_{s \text{ dop}},$$

dok je površinski pritisak

$$p = \frac{2 F_o}{d l} \leq p_{\text{dop}},$$

gdje je F_o obodna sila, d promjer, a l dužina zatika.



Sl. 71. Sile i naprezanja u uzdužnom zatičnom spoju izloženom djelovanju momenta okretanja

OPRUGE

Opruge su strojni dijelovi za elastično spajanje. Upotrebom prikladnog materijala i pogodnim oblikovanjem opruge se pod opterećenjem elastično deformiraju, a nakon prestanka djelovanja opterećenja poprimaju prvobitni oblik. Mehanički rad pretvaraju u potencijalnu energiju, a nju opet natrag u mehanički rad, tj. opruge akumuliraju rad.

Glavna su područja upotrebe opruga: akumulacija rada (satni mehanizmi), amortizacija udara (odbojnici željezničkih vozila, zavješene kotača, elastične spojke), ravnomjerna raspodjela opterećenja (željeznička i cestovna vozila), ograničenje sile (preše), mjerenje sile (dinamometri), regulacija (regulacijski ventili), elementi titranja ili ublaživanja titraja i dr. Prema vrsti opterećenja kojim su opruge izložene one se dijele na opterećene na savijanje, torziju, tlak ili vlak.

Karakteristike i rad opruga. Pod karakteristikom opruge razumijeva se krivulja koja prikazuje međusobnu ovisnost njenog