

dopuštena naprezanja  $\sigma_{dop}$ . Ta dopuštena (ili dozvoljena) naprezanja znatno su manja od pokusima ili računski utvrđenih naprezanja, te se smiju nalaziti znatno ispod lomnih naprezanja  $\sigma_L$ , a svakako i znatno niže od naprezanja na granici elastičnosti, tj.  $\sigma_{dop} < \sigma_E$  (v. dijagram  $\sigma$ - $\epsilon$  u članku *Nauka o čvrstoći*). Dozvoljena naprezanja mogu se naći obično u tablicama strojarških priručnika i knjiga za sve strojograđevne materijale, kao rubrike za  $\sigma_v$ ,  $\sigma_p$ ,  $\sigma_s$ ,  $\sigma_{s\,din}$ ,  $\tau_s$  i  $\tau_t$  a podijeljena su u 3 grupe: za mirno, pulzirajuće i izmjenično opterećenje. Prema potrebi, kod dinamičkih opterećenja uvadaju se u te brojčane vrijednosti još i spomenuti korekcijski faktori, koji obuhvataju specifične prilike rada elementa u sklopu stroja.

**Podjela elemenata strojeva.** Elementi strojeva obično se dijele na elemente za spajanje, za kružno gibanje, za pretvaranje pravocrtnog i kružnog gibanja jednog u drugo, za transport fluida i njegovo reguliranje te za brtvljenje.

Pod *elementima za spajanje* obično se razumijevaju elementi za rastavljivo ili razrješivo spajanje, tj. takvo spajanje koje omogućava rastavljanje spoja bez razaranja ili oštećenja, kao i ponovno sastavljanje. U elemente strojeva za kruto rastavljivo spajanje ubrajaju se vijci, zatici, svornjaci i tzv. elementi za spojeve s glavinama (klinovi i drugi). U elemente strojeva za elastično rastavljivo spajanje ubrajaju se opruge i gibnjevi.

Nerastavljivo ili nerazrješivo spajanje, tj. ono pri kojem se sastavljeni dijelovi ne mogu rastaviti bez razaranja, odnosno oštećenja, kao što su porubljeni, zavareni, lemljeni i lijepljeni spojevi, obuhvaća postupke čija je tehnologija sasvim posebna i vrlo opsežna, pa zbog toga ono se u ovom članku uopće ne razmatra (v. *Zavarivanje i lemljenje; Ljepila*). U nerazrješive spojeve ubrajaju se i zakovični spojevi. Za njihovu izradu potrebne su zakovice koje se smatraju zasebnim elementima strojeva, pa su zbog toga i obrađene u ovom članku.

Elementi strojeva za *kružno gibanje* jesu oni elementi koji omogućavaju ili prenose kružno gibanje. To su osovine, vratila, osnaci, spojke, ležaji, remenice, užnice, tarenice, zupčanici, pužne jedinice, lančanici i reduktori.

Elementi strojeva za *pretvaranje pravocrtnog i kružnog gibanja jednog u drugo* jesu tzv. stapni mehanizmi, tj. dijelovi stapnih strojeva. Oni su manje ili više specifični za svaku pojedinu vrstu tih strojeva, i zato čine posebno vrlo opširno područje. Zbog toga se obično, pa i u ovoj enciklopediji, oni razmatraju odvojeno (v. *Motori s unutrašnjim izgaranjem, Parni stapni strojevi, Stapni mehanizmi*).

Elemente strojeva za *transport različitih medija* (plinova, tekućina, usitnjenih krutih tvari) sačinjavaju cijevi, cijevni vodovi i cijevne veze. Tom grupom obuhvaćene su još i brtve i zaporni organi (v. također *Hidraulika*).

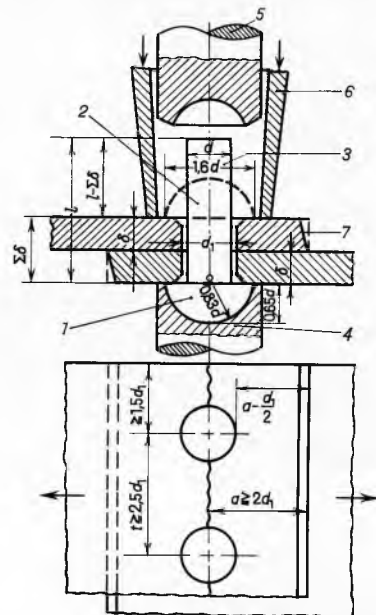
Osim takve uobičajene podjele elemenata strojeva postoje još i druge. Tako se elementi strojeva ponekad dijele na *opće*, tj. one koji se mogu naći u svim strojevima (elementi za spajanje i elementi za kružno gibanje) i *specijalne* (svi ostali elementi strojeva) koji se nalaze samo u određenim strojevima (npr. elementi dizalica i prenosilica, transportera, parnih strojeva, različitih turbina, motora s unutrašnjim izgaranjem, mlaznih motora, hidrauličkih motora, alatnih strojeva i dr.).

### ZAKOVICE

Zakovice su strojni dijelovi koji se sastoje od *svornjaka* (tijela) i glave, tzv. gotove ili *temeljne glave*. Druga glava, nazvana *završna glava*, oblikuje se tokom operacije zakivanja. Princip zakivanja, nazivi dijelova, oznake i odnosi dimenzija prikazani su na sl. 7.

Izrada provrta na dijelovima koji se spajaju izvodi se probijanjem ili bušenjem. Prvi je brži i ekonomičniji, ali postoji opasnost od pojave pukotina na rubovima provrta. Bolje je naknadnim bušenjem ili razvrtavanjem proširiti manji provrt na konačnu dimenziju. U kvalitetnim konstrukcijama (čelične konstrukcije, kotlovi) primenjuje se isključivo bušenje. Rubovi provrta na vanjskoj strani spoja moraju kod većeg promjera zakovica biti skošeni. Za postizanje ispravnog zakovičnog spoja, provrti na dijelovima koji se međusobno spajaju izvode se tako da se ti dijelovi nalaze u privremenom montažnom spoju ostvarenom s pomoću vijaka, zatega ili sl.

Zakivanje može biti *hladno* kod upotrebe zakovica od mjedi, bakra ili lakih legura kao i čeličnih od promjera  $< 10$  mm. *Toplo* zakivanje izvodi se čeličnim zakovicama zagrijanim do svjetlocrvenog žara ( $\sim 1000$  °C). Za zagrijavanje zakovica služe peći ložene drvenim ugljenom ili koksom. Najprikladnije je električno ili plinsko zagrijavanje zakovica.



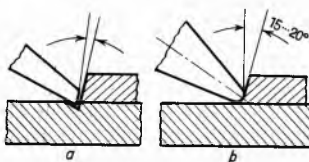
Sl. 7. Shematski prikaz spajanja zakivanjem. 1. Temeljna glava, 2. završna glava, 3. svornjak zakovica, 4. podmetač, 5. glavičar, 6. pritisak (samo kod strojnog zakivanja), 7. lim

Zakivati se može ručno (uz upotrebu ručnog alata, odnosno pneumatskog ili električnog čekića) ili strojno. *Ručno* zakivanje ograničeno je na slučajeve kad je obim rada mali i kad je promjer zakovica manji od 26 mm, jer iznad toga, naročito kad su svornjaci zakovica dugi, snaga čovjeka nije dovoljna za postizanje prikladne deformacije čitavog tijela zakovice. Postupak pri ručnom zakivanju vrlo je jednostavan. Ugrijana zakovica se zakivanje. Tim se načinom postiže veći i jednoličniji pritisak na svornjak zakovice, te se zakovica sabija po cijeloj dužini i bolje popunjava provrt. Brzina rada je mnogo veća, a specijalni uređaj osigurava bolje priljublivanje dijelova koji se spajaju. Glavni nedostatak je u tome što se često ne može primijeniti na mjestu montaže konstrukcije.

Osim dobrog ispunjavanja rupe u ispravnom zakovičnom spoju, završne glave zakovica moraju biti potpuno formirane, moraju dobro nalijegati na površine elemenata u spoju i ne smiju imati napukline.

U slučajevima kad zakovičasti spojevi ne smiju dozvoliti prolaz fluida (npr. stijenke rezervoara, limovi parnih kotlova, oplata brodova i sl.), *nepropusnost* je bezuvjetan zahtjev koji se na njih postavlja. Da bi se nepropusnost zakovičnih spojeva u takvim slučajevima još više osigurala, njihova izrada uključuje još i tzv. *podbijanje* (zaklepanje) kao završnu operaciju.

Ta operacija sastoji se u priljublivanju krajeva limova i glava zakovica posebnim alatom, tzv. *podbijaćima* čiji završetak mora biti malo zaobljen (sl. 8). Radi toga rubovi dijelova koji se spajaju moraju biti zakošeni pod kutom od  $15^{\circ}$ – $20^{\circ}$ . Pri tome ne smije doći do oštećenja limova alatom, jer to može izazvati njihovo nedopušteno slabljenje. Podbi-

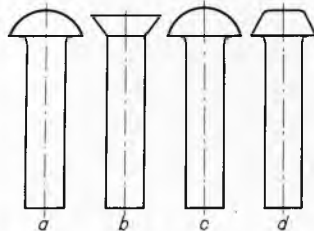


Sl. 8. Podbijanje: a neispravno — alat zasjeca lim, b ispravno — alat zaobljen

janje je izvedivo samo kad je debljina limova veća od 5 mm. Osim tih glavnih postupaka zakivanja u praksi, postoje i neki specijalni pri kojima se obično upotrebljavaju specijalne vrste zakovica.

**Zakovični spojevi** stežu spojene dijelove stanovitom tlačnom silom, koja, već prema mjerodavnom koeficijentu trenja, uzrokuje otpor trenja. Taj otpor suprotstavlja se silama koje djeluju u smjeru raskidanja zakovičnog spoja. Zakovice u nekom zakovičnom spoju nisu, dakle, napregnute na odrez sve dok te sile nisu veće od otpora trenja. Prema tome zakovice održavaju spoj pritiskom svojih glava.

**Vrste i materijal zakovica.** Zakovice su standardizirane standardom JUS, a dijele se prema veličini na dvije glavne skupine: normalne (s promjerom 10...37 mm) i sitne zakovice (s promjerom ispod 10 mm). Normalne zakovice služe za zakivanje u kotlogradnji, brodogradnji, čeličnim konstrukcijama i strojogradnji. Njihovi temeljni oblici prikazani su na sl. 9.

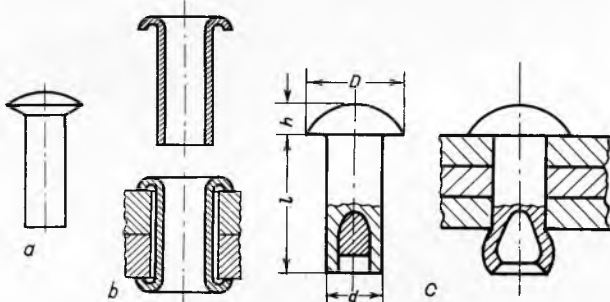


Sl. 9. Temeljni oblici normalnih zakovica. a Zakovica s poluokruglom glavom za čelične konstrukcije, b zakovica s upuštenom glavom, c zakovica s poluokruglom glavom za kotlove i posude pod pritiskom, d zakovica s koničnom glavom za brodogradnju

Osim oblika, standardima su određene i druge veličine mjerodavne za izbor normalnih zakovica za određene zakovične spojeve. Općenito se ukupna debljina  $\Sigma\delta$  dijelova u spoju održava ispod 4  $d$ .

Sitne zakovice uglavnom se upotrebljavaju za spojeve dijelova od lakih i obojenih metala i od mekog čelika. Oblici takvih zakovica slični su normalnim oblicima zakovica, osim jednog (s lećastom glavom) koji je prikazan na sl. 10 a.

Među sitne zakovice ubrajaju se i specijalne vrste zakovica. Jedna od takvih vrsta jesu cjevaste zakovice (sl. 10 b). One se upo-



Sl. 10. Specijalne zakovice. a Zakovica za lake metale s lećastom glavom, b cjevasta zakovica, c zakovica s eksplozivom prije i poslije zakivanja

trebljavaju, npr., u finoj mehanici, za spajanje dijelova od plastičnih masa, kože, tekstila i općenito u spojevima, gdje ne djeluju velike sile.

Druga vrsta specijalnih zakovica jesu zakovice s eksplozivom (sl. 10 c). Na kraju svornjaka one imaju komoricu u koju je smješten eksploziv. Upotrebljavaju se tamo, gdje zbog nepristupačnosti nije moguće napraviti završnu glavu. Zakivanje se izvodi eksplozijom koja nastaje grijanjem temeljnih glava do temperature  $\sim 120^\circ\text{C}$ . Mala lokalna eksplozija proširi slobodni kraj zakovica u završnu glavu naročito oblika.

Postoje još i druge specijalne zakovice koje se susreću u praksi (v. TE 1, str. 237—238).

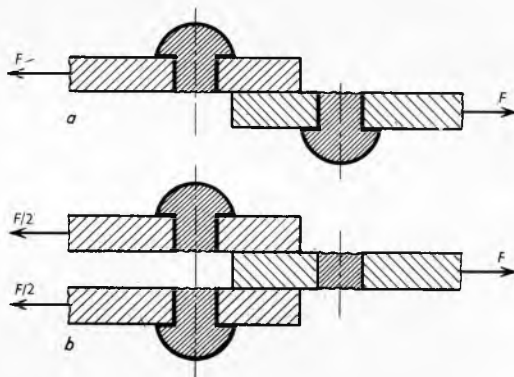
Da ne bi došlo do labavljenja zakovičnog spoja pri promjenama temperature, materijali dijelova u spoju i materijali zakovica moraju imati približno jednaki koeficijent toplinskog istezanja. Isto tako da ne bi nastali lokalni galvanski članci, koji bi mogli izazvati koroziju, moraju imati jednaki ili približno jednaki sastav.

Zbog svega toga, materijal zakovica uvijek treba da je isti ili bar vrlo sličan materijalu dijelova koji se spajaju. Za izradu zakovica za zakovične spojeve čeličnih dijelova služe čelici koji su standardizirani standardima JUS. To su žilavi manganski čelici s niskim sadržajem ugljika. Sadržaj mangana im je 0,25...0,80%. Čelici zakovica za čelične konstrukcije sadrže ponekad još nešto nikla. Vlačna čvrstoća  $\sigma_L$  tih čelika je 34...42 kp/mm<sup>2</sup> i 52...55 kp/mm<sup>2</sup>, a njihovo dozvoljeno razvlačenje 24...30%.

Zakovice za zakovične spojeve od lakih metala izrađuju se od aluminijuma i legura aluminijuma s bakrom i magnezijumom, uglavnom od iste legure kao i materijal koji se spaja.

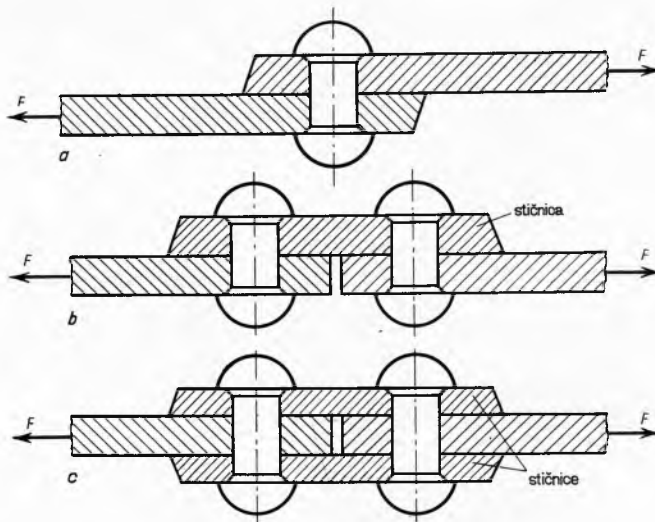
Osim tih zakovica izrađuju se još i zakovice od bakra i mesinga (za zakovične spojeve dijelova od tih metala i drugih materijala kao npr. tekstila, kože, plastičnih masa).

**Razdioba zakovičnih spojeva** (često se zovu i zakovični šavovi). Prema broju presjeka u kojima su zakovice napregnute na odrez pri smicanju dijelova koje one spajaju (ako bi došlo do njihovog međusobnog klizanja), zakovični spojevi se dijele na *jednoredne* kod kojih je samo jedan takav presjek (sl. 11 a), u *dvoredne* i u *višeredne* gdje je takvih presjeka više (npr. sl. 11 b, gdje je prikazan dvoredni spoj).



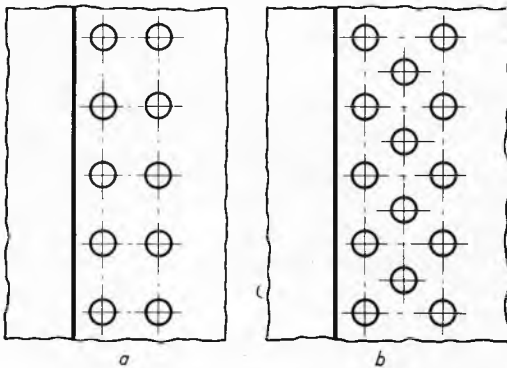
Sl. 11. Prisilni lom zakovičnog spoja: a jednoredni, b dvoredni

Zakovični spojevi prema međusobnom položaju dijelova dijele se na preklapne, u kojima su krajevi tih dijelova smješteni jedan nad drugim (sl. 12 a), i stične, u kojima ti krajevi leže jedan nasuprot drugome, a spojeni su sa stičnicom. Stični zakovični šavovi mogu biti zakovani sa jednom (sl. 12 b) ili sa dvije stičnice (sl. 12 c), i prema tome nazivaju se jednostranim, odnosno dvostranim stičnim zakovičnim šavovima. Specifični je otpor trenja jednorednih preklapnih šavova 700...1000 kp/cm<sup>2</sup>, a kod dvorednih stičnih šavova je dvostruko veći.



Sl. 12. Vrste zakovičnih spojeva s obzirom na međusobni položaj dijelova u spoju. a Preklapni spoj, b jednostrani stični spoj, c dvostrani stični spoj

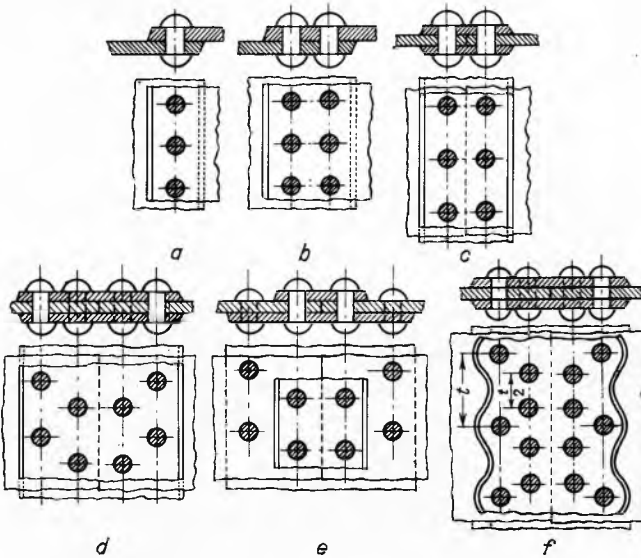
Prema međusobnom položaju njihovih zakovica šavovi se dijele na one s *paralelnim* rasporedom zakovica (sl. 13 a) i s *izmjeničnim* rasporedom zakovica (tzv. šahovski raspored sl. 13 b).



Sl. 13. Vrste zakovičnih spojeva s obzirom na međusobni položaj zakovica

Prema broju redova zakovica, zakovični spojevi mogu biti jednoredni, dvoredni, troredni itd. Pri tome se kod stičnih spojeva računa broj redova samo s jedne strane stika, odnosno polovica ukupnog broja redova (sl. 14 a, b, c, d). Osim toga postoje i kombinirani zakovični spojevi (sl. 14 e, f).

Prema svojoj namjeni zakovični se spojevi, odnosno šavovi, dijele na čvrste, nepropusne i čvrsto-nepropusne.



Sl. 14. Vrste zakovičnih spojeva s obzirom na broj redova zakovica. a) Jednoredni jednoredni, b) dvoredni jednoredni, c) jednoredni dvoredni, d) dvoredni dvoredni, e) jednoipolredni dvoredno-jednoredni, f) jednoipolredni dvoredni s dvostrukim korakom vanjskog reda

Čvrsti se šavovi upotrebljavaju za čelične konstrukcije mostova, krovova, dizalica i slično. Nepropusni šavovi služe kod spremnika (rezervoara), odnosno posuda koji nisu izloženi predtlaku. Čvrsto-nepropusni šavovi upotrebljavaju se u brodogradnji i kotlogradnji, te kod svih posuda koje rade pod tlakom, npr. autoklava, rezervoara pod tlakom i sl.

Spajanje zakivanjem primjenjuje se sve rjeđe jer ga potiskuje spajanje zavaranjem, koje omogućuje jednostavnije i lakše konstrukcije te sigurnije postizavanje nepropusnosti tamo gdje je to potrebno (v. i *Metalne konstrukcije, Parni kotlovi*).

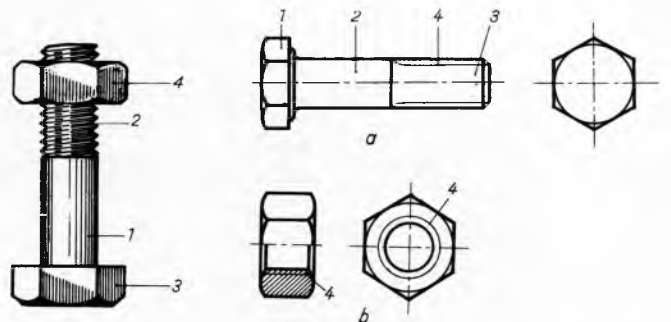
### VIJCI

Spajanje vijcima u razrješive spojeve najraširenija je operacija strojarstva uopće. Zbog toga su i vijci najrašireniji i najvažniji strojni elementi. Osim za vijčane spojeve oni imaju i niz drugih primjena kao npr.: stezni vijci za stvaranje prednapreznja (npr.

u steznim spojevima), vijci za zatvaranje otvora (npr. grla boca), postavni vijci (npr. za podešavanje zračnosti, podešavanje mjernih instrumenata, kao što je mikrometar i sl.), vijci za prijenos snage (npr. u vretenkim prešama, škripcima), vijci za izvođenje pokreta (npr. vretena ventila) itd.

Glavni dijelovi vijaka opisani su na sl. 15, koja prikazuje tzv. matični vijak (vijak s maticom), također prikazan i na sl. 16 na način uobičajen u strojarstvu.

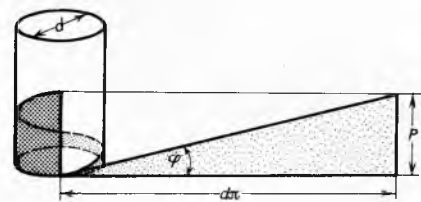
Na vijku se razlikuje *glava* (obično šesterokutna) i *svornjak*. Na svornjaku je urezan spiralni utor određenog profila. Spiralni utor može biti urezan po cijeloj dužini svornjaka ili samo dijelom, tako da ispod glave ostane cilindričan, tj. bez utora. *Matica* je posebni dio, potreban za izvođenje spojeva matičnim vijcima. Stijenka njenog provrta ima također navoj. Najbitniji dio vijka jest *navoj*, jer se s pomoću njega ostvaruje vijčani spoj. On je napravljen na jezgri po tzv. zavojnici.



Sl. 15. Matični vijak. 1 Svornjak, 2 navoj, 3 glava, 4 matica

Sl. 16. Način nacrtnog prikazivanja vijka. a) Vijak, b) matica; 1 glava, 2 svornjak, 3 jezgra, 4 navoj

*Zavojnica*. Normalna (cilindrična) zavojnica (vijčana linija) je prostorna krivulja koju opisuje točka gibanjem po obodu plašta uspravnog valjka i istovremeno u smjeru njegove osi. Nastajanje zavojnice prikazano je na sl. 17. Dužina zavoja jednaka je dužini hipotenuze oko valjka oмотanog pravokutnog trokuta kojemu vrh leži na obodu baze valjka s promjerom  $d$  i kojemu je dužina vodoravne katete jednaka opsegu  $d\pi$  te baze, a dužina okomite katete (uspona ili koraka zavojnice  $P$ ) putu što ga točka za vrijeme jednog okretaja pređe u smjeru osi. Kut  $\varphi$  što ga zatvaraju vodoravna kateta i hipotenuza tog trokuta jest kut zavojnice ili kut uspona.



Sl. 17. Nastajanje zavojnice.  $\varphi$  Kut uspona,  $P$  korak ili uspon

Pri tome taj trokut može biti ovijen oko valjka slijeva nadesno ili sdesna nalijevo. U prvom slučaju nastaje tzv. desnovojna, a u drugom tzv. ljevovojna zavojnica.

Navoji mogu biti napravljeni i po koničnoj (stožastoj) zavojnici.

### Navoj

Navoj se može zamisliti kao tijelo s oblikom što ga opisuje neka površina (profil navoja, npr. šrafirani trapez na sl. 18) pri svom gibanju po zavojnici.

Za svojstva i podjelu navoja važni su oblik i dimenzije njegovog profila. Oblik tog profila izveden je iz nekog temeljnog geometrijskog lika, najčešće trokuta, kao na sl. 19. Za taj oblik karakterističan je kut  $\alpha$ , što ga zatvaraju bočne strane profila navoja, koji se zove *kut profila navoja*. Karakteristična dimenzija profila navoja je i dubina navoja. *Stvarna dubina navoja*  $h_s$  jest radijalni razmak između najudaljenije od osi navoja i njoj najbliže točke