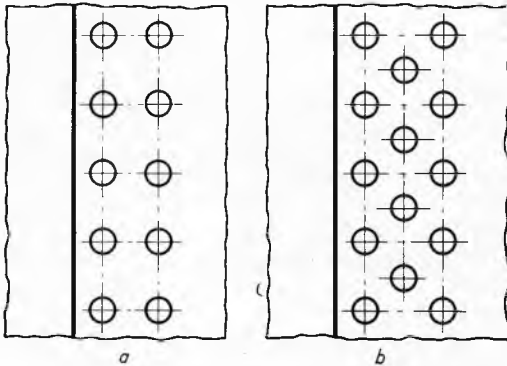


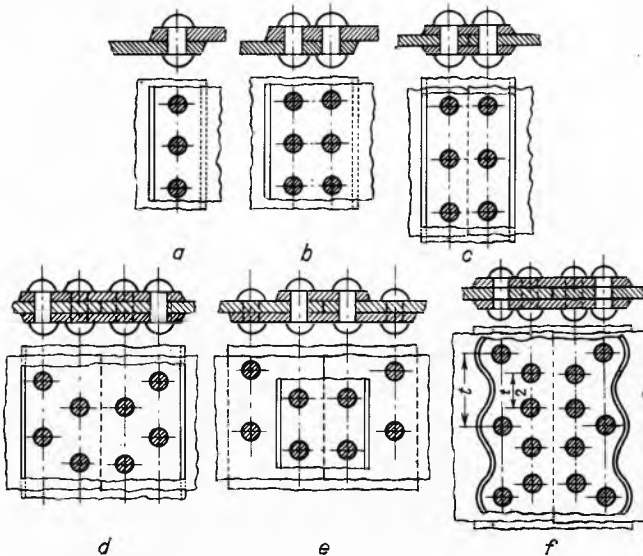
Prema međusobnom položaju njihovih zakovica šavovi se dijele na one s *paralelnim* rasporedom zakovica (sl. 13 a) i s *izmjeničnim* rasporedom zakovica (tzv. šahovski raspored sl. 13 b).



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*).

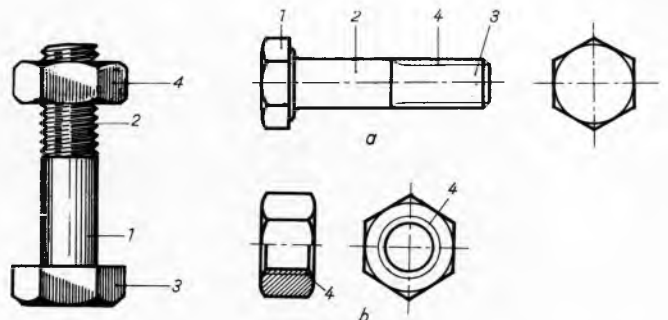
VIJCI

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.

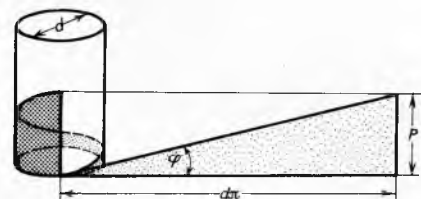
Na vijku se razlikuje *glava* (obično šesterokutna) i *svornjak*. Na svornjaku je urezan spiralni utor određenog profila. Spiralni utor može biti urezan po cijeloj dužini svornjaka ili samo dijelom, tako da ispod glave ostane cilindričan, tj. bez utora. *Matica* je posebni dio, potreban za izvođenje 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 φ što ga zatvaraju vodoravna kateta i hipotenuza tog trokuta jest kut zavojnice ili kut uspona.



Sl. 17. Nastajanje zavojnice. φ 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.

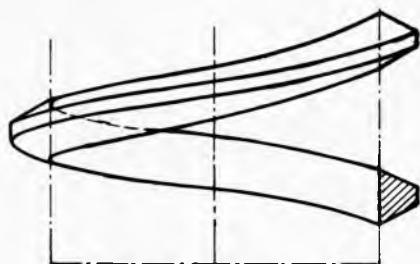
Navoji mogu biti napravljeni i po koničnoj (stožastoj) zavojnici.

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.

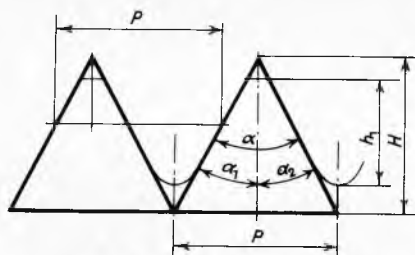
Za svojstva i podjelu navoja važni su oblik i dimenzije njegovog profila. Oblik tog profila izveden je iz nekog temeljnog geometrijskog lika, najčešće trokuta, kao na sl. 19. Za taj oblik karakterističan je kut α , što ga zatvaraju bočne strane profila navoja, koji se zove *kut profila navoja*. Karakteristična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

stvarnog profila navoja; *teoretska dubina navoja* H jest radijalni razmak između najudaljenije od osi navoja i njoj najbliže točke teoretskog profila navoja.



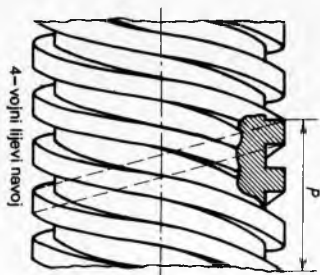
Sl. 18. Predočavanje nastajanja navoja

Osim gibanja jednog profila samo po jednoj zavojnici, kojim se predstavlja nastajanje tih tzv. *jednovojnih* navoja, moguće



Sl. 19. Teoretski profil navoja

je također istovremeno gibanje dvaju, triju i više jednakih profila po isto tolikom broju jednakih i međusobno jednako razmaknutih zavojnica. Pri tome onda nastaju *dvo-*, *tro-* i *viševojni* navoji. Četverovojni navoj shematski je prikazan na sl. 20.



Sl. 20. Shema četverovojnog vijaka

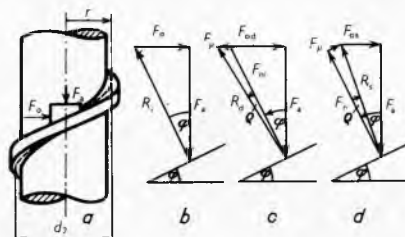
Na sl. 18 zamišljeno je gibanje profila navoja po zavojnici s vanjske strane plašta cilindra. Pri tome nastaju vanjski navoji (za vijke). Na sličan način može se zamisliti i nastajanje unutrašnjih navoja (npr. za matice) gibanjem profila po unutrašnjoj strani plašta.

Pri označavanju promjera navoja mora se razlikovati *vanjski*, *unutrašnji* i *srednji promjer* (v. sl. 24). Prvi i drugi jesu promjeri zamišljenih valjaka čiji plašteni dodiruju najudaljenije od osi, odnosno njoj najbliže točke profila navoja. Srednji promjer navoja je promjer zamišljenog valjka koji raspolavlja teoretsku dubinu navoja. Vanjski, unutrašnji i srednji promjeri vanjskih navoja označavaju se sa d , d_1 i d_2 . Vanjskom promjeru vanjskog navoja d odgovara unutrašnji promjer unutrašnjeg navoja D ; unutrašnjem promjeru vanjskog navoja d_1 odgovara vanjski promjer unutrašnjeg navoja D_1 ; srednji promjer jednog i drugog navoja redovito su jednaki tj. $d_2 = D_2$.

Djelovanje vijaka. Za promatranje pojava, koje nastupaju pri spajanju i prijenosu gibanja vijcima, i stanja u vijčanim spojevima obično se polazi od uspravno postavljenog vijka s plošnim navojem (s profilom od pravokutnika) prikazanog na sl. 21 a. Predmet koji se nalazi na navoju tog vijka predstavlja maticu. Da bi se pri njegovom dizanju svladala aksijalna sila F_a kojom

on tlači na navoj vijka, potrebna je neka obodna sila F_o (tangencijalna sila uvijanja vijka). Pri tome se uvijek može uzeti da hvatište te sile leži na zavojnici na valjku s promjerom d_2 (srednji promjer navoja) i da vladaju zakoni skoro istovjetni sa zakonima gibanja tijela po kosini. (Ta dva slučaja razlikuju se samo po tome što nema vlačne sile koja djeluje u smjeru kosine; namjesto nje pojavljuje se obodna sila F_o .)

U ravnoteži idealiziranog slučaja, kad trenje nije uzeto u obzir, prikazanog trokutom sila na sl. 21 b, rezultanta R_1 tih sila (od kojih je obodna označena s F_{o1} , da bi se razlikovala od F_{o2} i F_{o3} , u ostala dva slučaja, gdje su joj veličine različite) leži u pravcu



Sl. 21. Djelovanje sila na plošni navoj. a Aksijalna i obodna sila, b trokut sila za slučaj bez trenja, c trokut sila pri dizanju uz trenje, d trokut sila pri spuštanju tereta

normalne boka u toj točki. Prema prije spomenutim zakonima za taj slučaj može se izvesti da je

$$\frac{F_{o1}}{F_a} = \frac{P}{d_2 \pi} = \tan \varphi; \quad F_{o1} = F_a \tan \varphi,$$

gdje upotrijebljeni simboli imaju već opisano značenje.

Međutim, u stvarnim slučajevima prikazanim trokutima sila na sl. 21 c i d, trenje uvijek postoji, pa međusobno relativno gibanje predmeta na sl. 21 a može nastupiti samo onda, ako je rezultanta otklonjena od normale najmanje za stanoviti kut ϱ . Tada je za račun važna komponenta aksijalne sile u pravcu te normale (normalna sila, F_n).

Kut ϱ je *kut trenja*. On je određen zahtjevom da njegov zbroj s kutom navoja φ bude toliki da upravo nastupi gibanje tereta po navoju samo od sebe, a može se izračunati iz međusobnih odnosa sila F_a , F_n i otpora trenja predstavljenog silom F_{μ} , određenih njihovim trokutima:

$$F_{\mu} = F_n \sin \varrho; \quad F_n = F_a \cos \varrho$$

i između F_{μ} i F_n određenog poznatim odnosom između normalne sile i sile trenja

$$F_{\mu} = \mu F_n,$$

gdje je μ koeficijent trenja. Za to potrebne veličine μ nalaze se u tablicama priručnika za sve konstrukcijske materijale.

Iz tih formula slijedi

$$\mu = \frac{\sin \varrho}{\cos \varrho} = \tan \varrho; \quad \varrho = \arctan \mu.$$

Da međusobno relativno pomicanje vijka i matice ne bi počelo samo od sebe, tj. da bi vijak bio *samokočan*, potreban je uvjet

$$\varphi < \varrho.$$

Isto tako je za dizanje matice (slučaj na sl. 21 c) potrebna obodna sila

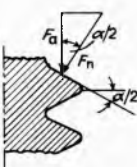
$$F_{o2} = F_a \tan (\varphi + \varrho),$$

a za spuštanje samo

$$F_{o3} = F_a \tan (\varphi - \varrho).$$

Razlika tih pojava na vijcima s plošnim i trokutnim profilom navoja jest ta što prema sl. 22 namjesto sa silom F_a treba računati sa silom

$$F_n = F_a \cos \frac{\alpha}{2},$$



Sl. 22. Normalne sile na navoju s oštrim profilom

gdje je $\alpha/2$ kut poluprofila navoja. Za taj, kod navoja u praksi, redoviti slučaj vrijede sve iz-

vedene formule, ako se namjesto q uzme q' kao tzv. reducirani kut trenja, kojemu odgovara koeficijent trenja μ' , određen izrazom

$$\mu' = \tan q' \approx \frac{\tan q}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

gdje je μ' korigirani koeficijent trenja veći od μ (obično za 15%).

Korisni rad pri jednom okretaju vijka na sl. 21 jest $F_n P$, gdje je P hod vijka, a za to uloženi rad $d_2 \pi F_n$. Prema tome, uloženi rad je veći za rad uloženi za svladavanje trenja na putu d_2 . Omjer

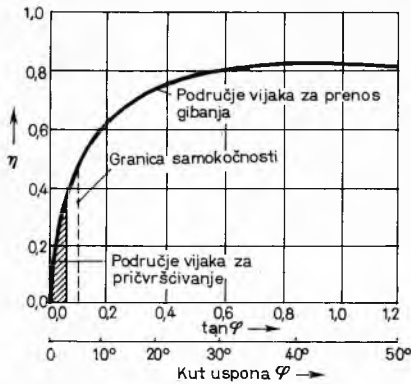
tih dviju veličina, tj. $\frac{\text{korisni ili dobiveni rad}}{\text{uloženi rad}}$ označuje se sa

$$\eta = \frac{F_n P}{F_o d_2}$$

a zove se *stupanj korisnog učina*, stupanj djelovanja, stupanj iskoristivosti ili iskoristivost vijka. S tim se može uz pomoć već izvedenih formula izračunati da je

$$\eta = \frac{\tan \varphi}{\tan(\varphi + \rho)}$$

Na sl. 23 prikazana je ovisnost stupnja djelovanja vijka o kutu uspona njegovog navoja (odnosno o tangensu tog kuta) pri najčešćoj vrijednosti koeficijenta trenja od 0,1. Vidi se da on raste s kutom uspona najprije brzo, a zatim sve sporije. Maksimalnu vrijednost doseže kod $\varphi = 45^\circ - \rho$.



Sl. 23. Stupanj djelovanja vijka prema kutu uspona

Uvjet za samokočnost vijka, izražena stupnjem djelovanja, jest

$$\eta \geq 0,5.$$

Inače je vijak samoklizan.

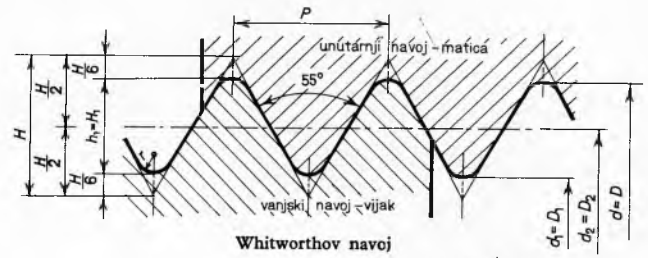
Vrste navoja. Baza za podjelu navoja jest oblik njihovih profila. Navoji se dijele i prema veličini uspona i dimenzijama profila. Pri tome se navoji kod kojih su te veličine kod istih vanjskih promjera razmjerno male, nazivaju *finim* ili sitnim navojima sa sitnim usponom ili sitnim korakom. Također navoji se grupiraju i u skupine, već prema namjeni i prema načinu na koji oni sudjeluju u navojnom spoju. Većina je navoja u industrijski razvijenim zemljama standardizirana.

Najstariji sustav standardiziranih parova navoja potječe od engleskog inženjera Sir Josepha Whitwortha. Postavljen je već 1841, a u upotrebi je još i danas, te ga prihvaćaju standardi ISO kao i različiti nacionalni standardi, a također i JUS. Međutim, danas su u skupini parova navoja najvažniji metrički standardi ISO. Uz te dvije vrste, u skupini parova navoja JUS predviđa i druge, kao što su trapezni, kosi, obli i Edisonovi navoji.

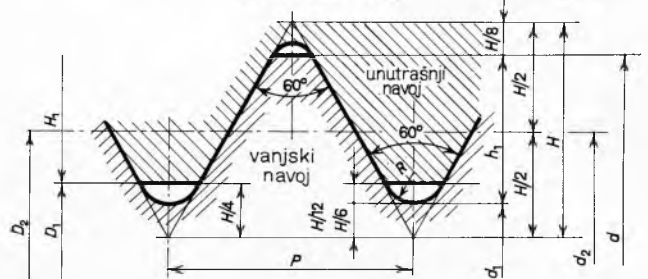
Posebnu skupinu navoja čine navoji vijaka za drvo, limove i sl. Za razliku od prije spomenutih, oni se ne spajaju uz sudjelovanje gotovog unutrašnjeg navoja, već vijci taj navoj urezuju sami za vrijeme uvijanja u materijal; zbog toga se i nazivaju *ureznim* ili *samoreznim* vijcima.

Iako između vijaka za pričvršćivanje i gibanje nema načelnih razlika, ipak se navoji vijaka za gibanje zbog specifične namjene obično izdvajaju kao posebna skupina navoja.

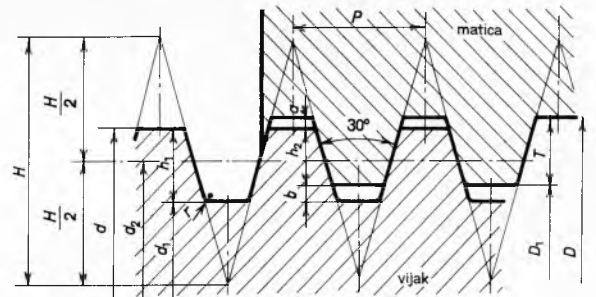
Sl. 24. Profili navoja



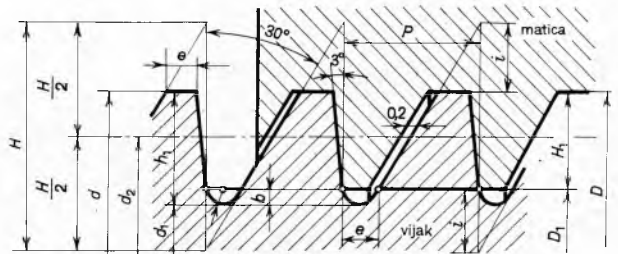
Whitworthov navoj



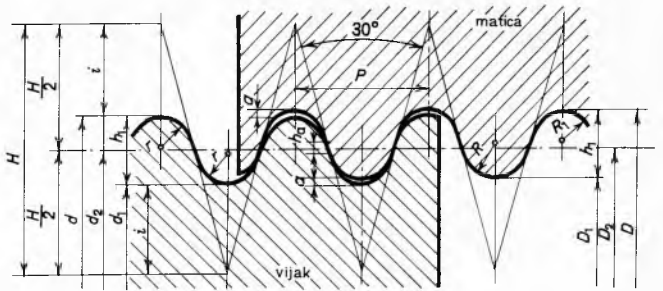
Normalni metrički navoj (s trokutastim ISO profilom)



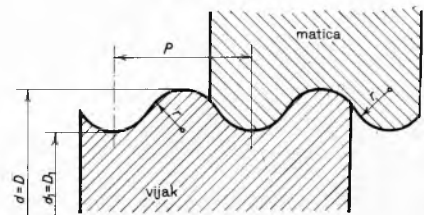
Trapezni navoj



Kosi navoj



Obli navoj



Edisonov navoj

Whitworthovi navoji. Teoretski profil tih navoja (sl. 24) jest istokračni trokut s kutom profila od 55° . Temeljna jedinica dimenzija vijaka s Whitworthovim navojem jest engleski col (inch = 25,4 mm). Npr. Whitworthov navoj od $15/8''$ ima vanjski promjer 41,277 mm. Međutim, u zemljama koje se služe metričkim sustavom mjera samo se vanjski promjer tih vijaka zadaje u colima, a sve ostale dimenzije u milimetrima. U upotrebi su dvije vrste Whitworthovih navoja: normalni i cijevni. Obično se pod nazivom Whitworthov navoj podrazumijeva normalni, dok se drugi obično nazivaju cijevnim navojima.

Whitworthovi cijevni navoji imaju navoj malih dimenzija. Npr., pri nazivnom promjeru cijevi od $2''$, uspon i dubina profila normalnog Whitworthovog navoja iznose 5,645 mm, odnosno 3,614 mm, kod cijevnog navoja iznose svega 2,309 mm, odnosno 1,479 mm. Zbog toga što ti navoji znatno manje oslabljuju materijal i osim toga imaju puni profil pa dobro brtve, oni su prikladni za spajanje cijevi (odatle im i naziv) koje redovno imaju tanke stijenke, pa bi ih normalni Whitworthov navoj kod narezivanja jednostavno prosekao. Oni se upotrebljavaju i za spajanje drugih dijelova koji ne smiju biti odviše oslabljeni navojem. Whitworthovi cijevni navoji označavaju se slovom R ispred dimenzije nazivnog promjera, npr. R $2''$. Uvođenjem trokutastog ISO-profila opada upotreba Whitworthovih navoja. JUS ne dopušta upotrebu Whitworthovih navoja u novim konstrukcijama.

Metrički navoji s trokutastim ISO-profilom. Teoretski profil tih navoja jest istostranični trokut s kutom profila $\alpha = 60^\circ$. Njihov uspon zadaje se u milimetrima, a nazivni promjer srednjim promjerom (d odnosno D). Oni su postavljeni od Međunarodne organizacije za standardizaciju ISO (odatle im i naziv). To su tri skupine standarda: normalni, sitni i konični navoji s trokutastim ISO-profilom.

Normalni navoj s trokutastim ISO-profilom prikazan je na sl. 24. Označava se slovom M i nazivnim promjerom ispred broja standarda, npr. M20 JUS. M. BO. 12 znači normalni metrički navoj s trokutastim ISO-profilom i nazivnim promjerom od 20 mm.

Sitni navoji upotrebljavaju se u općem strojarstvu, u preciznoj mehanici i optici. Označavaju se slovom M, nazivnim promjerom i usponom ispred broja standarda, npr. M30 \times 2 JUS M.BO. 016.

Konični metrički navoji odlikuju se time što njihova središnjica i os zatvaraju kut od $1^\circ 47' 23''$, što odgovara konicitetu od 1 : 16. Ti se navoji upotrebljavaju za izravno međusobno spajanje cijevi (bez posredstva drugih elemenata za spajanje) kao i za druge slične namjene. Označavaju se slovom M, nazivnim promjerom, usponom i kraticom kon. ispred broja standarda; npr.: M20 \times 1,5 kon. JUS M.BO.017.

Trapezni navoj prikazan je na sl. 24. Njegov teoretski profil je istokračni trokut s kutom profila od 30° , a stvarni, istokračni trapez. Najviše se upotrebljava na vretenima za prijenos kretanja i snage. Za pričvršćivanje upotrebljava se samo na onim vijcima koji služe za naročito opterećene vijčane spojeve, ili one koji se često rastavljaju (trapezni navoji manje se troše). Oni se izrađuju u tri izvedbe, i to u normalnoj, sitnoj i krupnoj. Označavaju se oznakom Tr, nazivnim promjerom i usponom ispred broja standarda, npr. oznake Tr 48 \times 8, Tr 48 \times 3, Tr 48 \times 12 znače promjer puta normalni, odnosno sitni i krupni uspon, u milimetrima. Trapezni navoji mogu biti i viševojni.

Kosi (pilasti) navoj prikazan je na sl. 24. Njegov teoretski profil je pravokutni trokut s kutom profila od 30° , a stvarni, trapez s različito zakošenim krakovima. Upotrebljava se za prenošenje velikih aksijalnih sila, ali samo onih koje djeluju u jednom smjeru.

Pilasti navoji također se izrađuju u normalnoj, sitnoj i krupnoj izvedbi. Označavaju se slovom S, nazivnim promjerom i usponom, npr. oznake S 48 \times 8, S 48 \times 3, S 48 \times 12 znače kose navoje, promjer \times normalni, odnosno sitni i krupni uspon, u milimetrima. Također se upotrebljavaju za viševojne vijke.

Obli navoj prikazan je na sl. 24. Njegov teoretski profil je istokračni trokut s kutom profila od 30° , ali su vrhovi i korijeni stvarnog profila tog navoja na jezgri vijka i u matici vrlo zaobljeni, a između vrha navoja vijka i korijena navoja matice je zračnost. Ti su navoji prikladni za grube uvjete, jer su manje osjetljivi na

oštećenja i rđu. Standardizirani su i označavaju se slovima Rd, nazivnim promjerom (u mm) i usponom u colima. Npr. Rd 40 \times $+ 1/6''$ znači obli navoj s nazivnim promjerom od 40 mm i usponom od $1/6''$.

Postoje još neki standardi obliha navoja koji se upotrebljavaju kod željeznica (npr. za spojna vretena i kočničke motke), ali se smatraju zastarjelima.

Edisonov navoj za grla žarulja prikazan na sl. 24, također je obli navoj, i označen je po JUS vanjskim promjerom, zaokružanim na cijeli broj milimetara. Postoji samo pet veličina: E 10, E 14, E 27, E 33 i E 40.

Osim opisanih navoja postoje još i drugi njihovi oblici, i to standardizirani navoji za oklopne cijevi, vijke za lim, drvo, bicikle i dr.

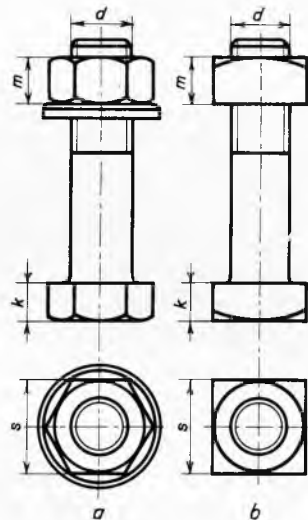
Vrste vijaka

Vijci se obično dijele prema namjeni u dvije osnovne skupine, i to u vijke za pričvršćivanje i vijke za prijenos gibanja.

Za neke vijčane spojeve uz vijke potrebni su i drugi elementi koji se zbog toga također razmatraju u ovom članku.

Vijci za pričvršćivanje. Unutar te skupine vijci se dijele, također prema namjeni, na matične, zatične, specijalne i vijke s glavom.

Matični vijci prikazani su na sl. 25. Njihove glave najčešće su šesterostrane (sl. 25 a), rjeđe četverostrane (sl. 25 b) i obično

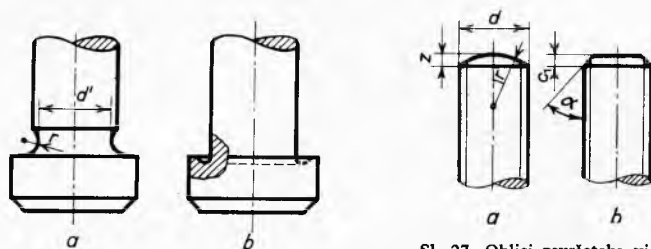


Sl. 25. Matični vijak sa šesterostranom glavom (a) i četverostranom glavom (b)

su izrađene zajedno sa svornjakom u jednom komadu. Uz te temeljne oblike glava postoje i druge, npr. cilindrične, konične, zaobljene. Postoje i matični vijci s upuštenim glavama. Visina glave matičnih vijaka obično je $0,7d$ (d je vanjski promjer).

Da bi se smanjila koncentracija naprezanja vijka u vijčanom spoju na mjestu prijelaza njegovog svornjaka u glavu, taj prijelaz ne smije biti oštar. Obično se zaobljuje ojačanjem svornjaka na tom mjestu, ili se izrađuju utori za rasterećenje na svornjaku ili na glavi (sl. 26).

Završeci vijaka mogu biti različiti. Najčešće su zaobljeni ili stožasti (sl. 27), a ponekad mogu biti i ravni.

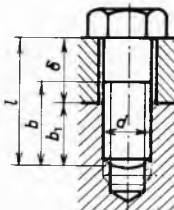


Sl. 26. Utori za rasterećenje na vijcima: a na svornjaku, b na glavi

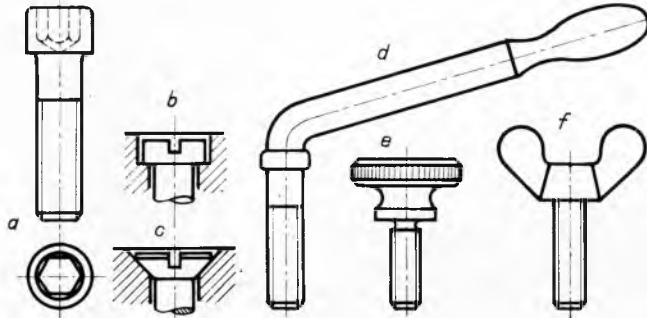
Sl. 27. Oblici završetaka vijaka: a zaobljeni, b stožasti

Vijci s glavom (glavati vijci) upotrebljavaju se u slučajevima kad kroz materijal nije moguće provrtati rupu, npr. zbog velike debljine predmeta ili nepristupačnosti predmeta s druge strane. Kako je prikazano na sl. 28, maticu u tim slučajevima zamjenjuje uvrtni s navojem u donjem većem ili debljem dijelu vijčanog spoja.

Glave tih vijaka namijenjenih za uvijanje i odvijanje s pomoću ključeva najčešće su šesterostrane. Neki posebni oblici glava tih vijaka prikazani su na sl. 29.



Sl. 28. Vijak sa šesterostranom glavom



Sl. 29. Oblici vijaka s glavom: a sa šesterokutnom rupom u glavi, b i c s utorom za uvijanje, d s ručicom, e s narovašenom glavom, f s krilnom glavom

Zatični (svorni) vijci. Neki od tih vijaka prikazani su na sl. 30; upotrebljavaju se za vijčane spojeve koji se često rastavljaju. Oni imaju navoje na oba kraja svornjaka. Jedan kraj vijka čvrsto se uvija u otvor koji ima unutrašnji navoj. Prilikom rastavljanja vijčanog spoja vijak se više ne izvija.

Specijalni vijci i matice upotrebljavaju se za posebne namjene. To su temeljni, distancijski, uvrtni, zatezni, zglobovi, vijci za zavješanje, vijci za zatvaranje, te oni sa specijalnim oblicima. U tu skupinu ubrajaju se i vijci za drvo.

Temeljni (sidreni) vijci služe za pričvršćenje strojeva i aparata za njihove betonske temelje. Neki od njih prikazani su na sl. 31.

Spreznjaci (distancijski vijci) služe za spoj, gdje je potrebno održavanje dvaju ili više strojnih dijelova na određenoj udaljenosti

jednoga od drugoga. Neki od tih vijaka prikazani su na sl. 32. Njihova funkcija može biti osigurana ojačanom izvedbom svornjaka na cijelom rasponu udaljenosti koju treba održavati (sl. 32 a), ili samo na njegovim krajevima (sl. 32 b), odnosno potrebni se razmak održava s pomoću distancijske ljske (sl. 32 c).

Uvrtni vijci (vijci za fiksiranje) služe za stezanje, fiksiranje međusobnog položaja i podešavanje međusobne udaljenosti dvaju dijelova. Neki od njih prikazani su na sl. 33. Najčešće imaju navoj po čitavoj dužini svornjaka i četvrtastu glavu (sl. 33 a, b). Za uvijanje neki imaju utor (sl. 33 c), a neki šesterokutnu rupu za ključ (sl. 33 d).

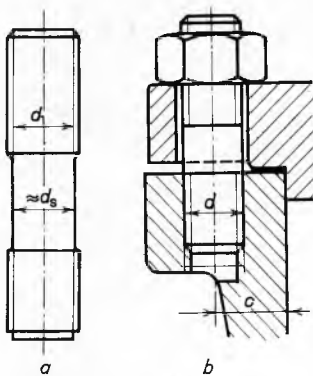
Zateznice ili stezaljke su strojni dijelovi koji služe za spajanje i podešavanje dužine i napetosti zateznih štapova (sl. 34 a) ili užeta (sl. 34 b). Za tu svrhu imaju na jednom kraju desni a na drugom lijevi navoj.

Zglobni vijci upotrebljavaju se za spajanje dijelova koji se često otvaraju. Takvi slučajevi pojavljuju se npr. kod poklopaca autoklava (sl. 35). Tada se na prirubnicama namjesto provrta nalaze prorezi. Namjesto glave zglobni vijci imaju oko kroz koje prolazi svornik oko kojeg se vijak može okretati kad je krilna matica odvijena.

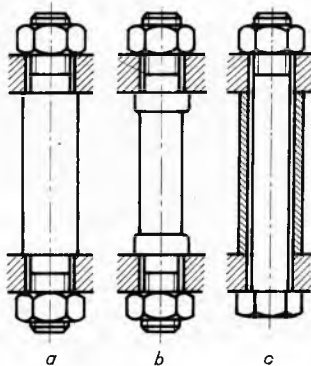
Vijci s nareznicom (sl. 36) upotrebljavaju se za uvrtnje u bušene rupe u kojima sami urezuju ili bolje rečeno uvaljuju navoj, obično pri spajanju dijelova od tanjih limova. Na mjestu na takav način izrađenog navoja povećava se debljina dijela koji se spaja. Ti se vijci izrađuju obično od čelika i kale. Njihove glave su šesterokutne, cilindrične, polukuglaste ili upuštene, a navoj im pokriva čitavu površinu struka.

Vijci i matice specijalnih oblika primjenjuju se tamo gdje je potrebno da se spriječi njihovo uvijanje ili odvijanje od neovlašćenih osoba, time što je za to potreban specijalni alat. Najčešće su to vijci s trobridnom glavom (sl. 37) ili maticom, ili s utorima posebnog oblika (sl. 38).

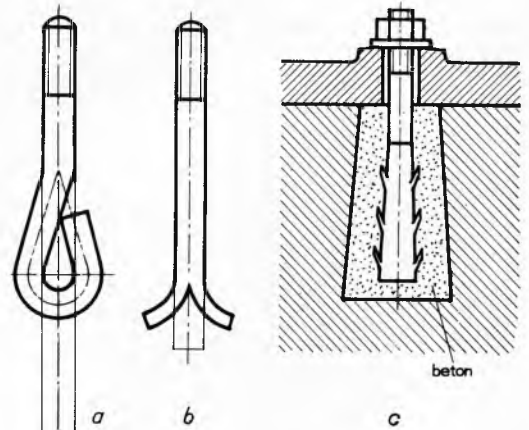
Vijci za drvo (sl. 39) služe za spajanje drvenih dijelova međusobno i s dijelovima drugih materijala. Navoj je urezni. U smjeru prema glavi dubina njihovih navoja opada. Glave im mogu biti šesterokutne i četverokutne, polukuglaste, lečaste i upuštene s utorom. Vijci za drvo izrađuju se od čelika, mesinga i slitina aluminijuma.



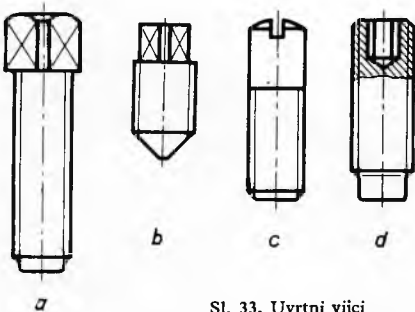
Sl. 30. Zatični vijci



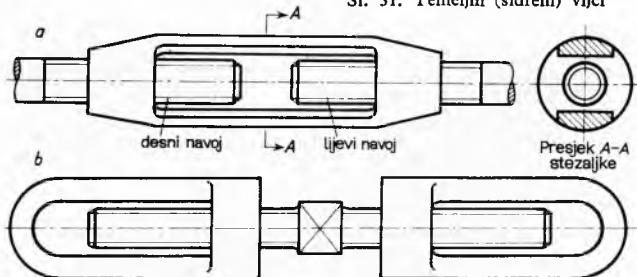
Sl. 32. Spreznjaci: a s ojačanim svornjakom, b s ojačanim krajevima svornjaka, c s distancionom ljskom



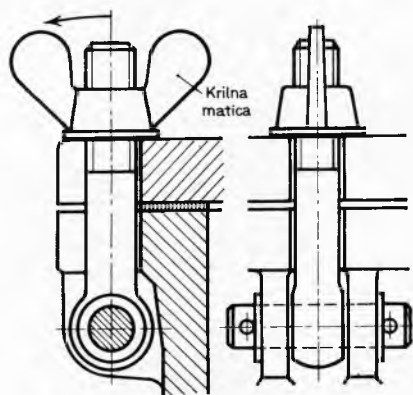
Sl. 31. Temeljni (sidreni) vijci



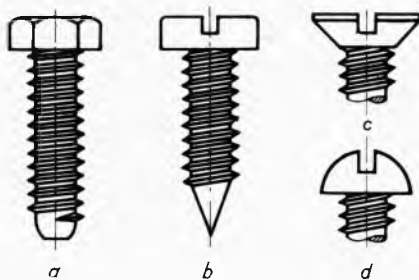
Sl. 33. Uvrtni vijci



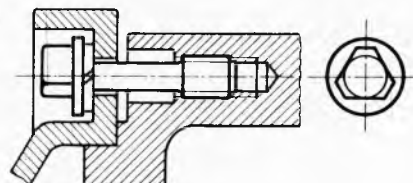
Sl. 34. Zateznice



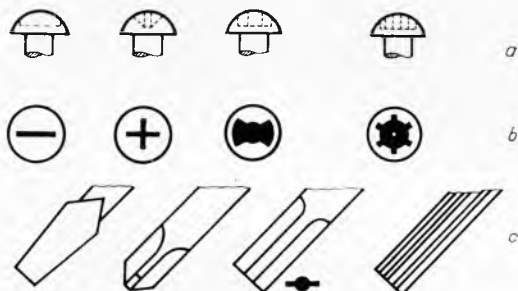
Sl. 35. Zglobni vijak s krilnom maticom



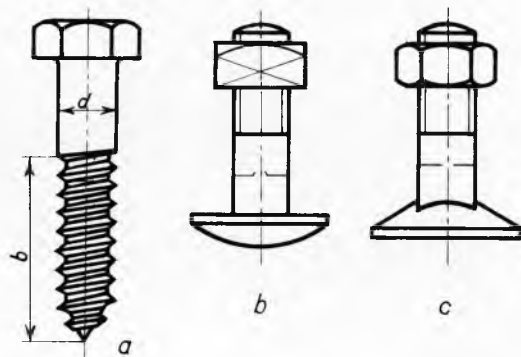
Sl. 36. Vijci s nareznicom: a sa šesterokutnom glavom; b, c, d s cilindričnom, upuštenom i poluokruglom glavom s torom za uvrtnje



Sl. 37. Vijak s trobridnom glavom



Sl. 38. Glave vijaka specijalnog oblika. a Bokovert, b pogled odozgo, c alat za odvijanje



Sl. 39. Vijci za drvo: a sa šesterokutnom glavom, b s lečastom glavom, c s upuštenom glavom

Ostali elementi vijčanih spojeva. U već spomenute elemente koji su uz vijke potrebni za određene vijčane spojeve ubrajaju se matice, podlošnice i elementi za osiguranje od odvijanja.

Matice su najčešće oblika prikazanih na sl. 40. Među njima najviše je rasprostranjen šesterokutni oblik (sl. 40 a). Visina je matice za normalni navoj $m \approx 0,8 d$. Visina slabo opterećenih matice može biti i manja (polovica od toga).

Podlošnice (podložne pločice, podloške) su strojni elementi koji se stavljaju pod matice kad njihov pritisak na dosjednu plohu treba raspodijeliti na veću površinu (npr. kad matica dosjeda na meki materijal, kao što je drvo, koža, fiber i sl.), kad treba izbjeći

trenje matice o dosjednu plohu (npr. kad se matica često odvrtće), ili kad je dosjedna površina hrapava. Obično su to pločice od čeličnog lima ili od okruglog šipkastog materijala (sl. 41 a), a rjeđe četvrtastog oblika (sl. 41 b, c). Mogu biti i s nagibom (sl. 41 c). Podlošnice se izrađuju također i od aluminijuma, bakra, mesinga, bronce.

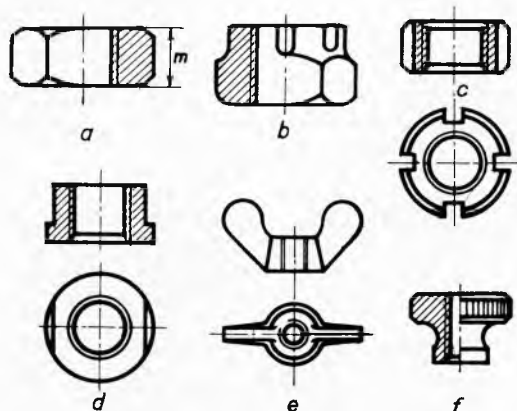
Elementi za osiguranje vijčanih spojeva. Iz već prije spomenutih uvjeta za samokočnost može se izračunati da su vijčani spojevi samokočni i pri razmjerno malim vrijednostima koeficijenta trenja. Tako su npr. vijci s metričkim navojem, čije su veličine kuta uspona $\sim 2,5^\circ$, samokočni sve dok je $\mu = \operatorname{tg} \varrho' = 0,044$. Taj je uvjet osiguran pri mirnom opterećenju, pa se pri tome vijčani spojevi ne mogu olabaviti sami od sebe.

Međutim, pri udarnim i titrajnim opterećenjima to svojstvo ne predstavlja dovoljno osiguranje od odvrtnja, jer tada često nastaju deformacije dijelova vijčanih spojeva, koje imaju za posljednicu slabljenje steznih sila i time trenja. Zbog toga se vijci koji su izloženi takvim opterećenjima posebno osiguravaju. Glavni je cilj osiguranja da se spriječi odvrtnje i gubitak matice. Radi toga povećava se u spoju moment trenja koji se suprotstavlja tom odvrtnju silom, ili se primjenjuju elementi specijalnih oblika koji onda onemogućavaju relativno pomicanje matice. Prema načinu osiguranja ti se elementi dijele na elemente za osiguranje vijčanih spojeva silom i osiguranja oblikom. Budući da takvih elemenata postoji vrlo mnogo, u ovom članku bit će prikazani samo oni najpoznatiji, odnosno oni koji se najčešće upotrebljavaju.

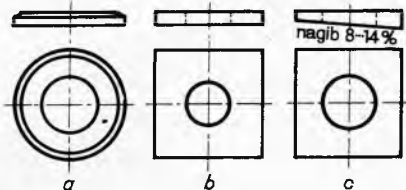
Elementi za osiguranje silom. Veličina trenja u vijčanom spoju posljedica je aksijalne sile u vijku stvorene stezanjem. Izmjenična i udarna opterećenja vijčanog spoja smanjuju tu silu, a prema tome i trenje. Elementi za osiguranje vijčanih spojeva koji povećavaju aksijalnu silu u vijku prikazani su na sl. 42.

Prstenaste rasječene elastične podlošnice, tzv. Growerovi prstenovi (sl. 42 a, b) sprečavaju odvrtnje matice (ili vijka kad se nalaze pod njegovom glavom) time što svojim opruženjem elastično tlače dosjedne površine, i na taj način ne dopuštaju smanjenje aksijalne sile u vijku. Te se podlošnice izrađuju od čelika za opruge, kale se i popuštaju.

Na sličan način djeluju zupčaste i lepezaste podlošnice čiji je jedan oblik prikazan na sl. 42 c. One su također izrađene od čelika za opruge.

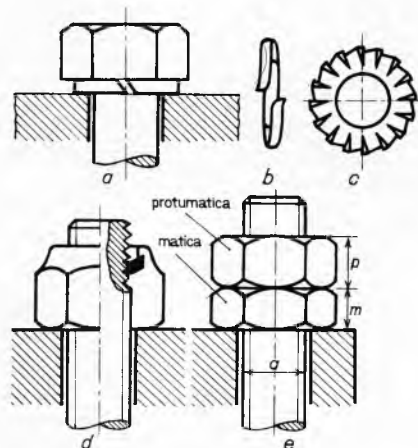


Sl. 40. Najčešći oblici matice: a šesterokutna, b krunasta s izrezima za rascjepku, c s izrezima za specijalni ključ, d s dvije paralelne plohe, e krilna, f narovašena



Sl. 41. Podlošnice: a okrugla, b četvrtasta, c s nagibom (za valjane profile)

Elastični prsten u matici prikazanoj na sl. 42 d (tzv. »Elastic-Stop«-matica) izrađen je od fibera ili od specijalne plastične mase i čvrsto je usađen. Pri stezanju stiže se između navoja vijka i tako elastično koči maticu. Istovremeno djeluje kao brtva, i k tome još štiti navoj od vlage.



Sl. 42. Elementi za osiguranje vijčanih spojeva povećanjem aksijalne sile: a i b elastičnom podložnicom, c ozubljenom prstenastom podložnicom, d prstenom od fibera usađenim u maticu, e maticom i protumaticom

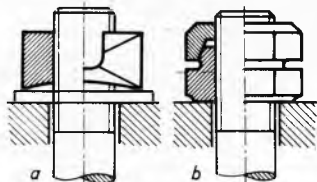
Jedan od najjednostavnijih načina osiguranja vijčanih spojeva je stavljanje protumalice (sl. 42 e). Pri tome visina p protumalice mora biti veća od visine m matice, jer protumatica preuzima uzdužnu silu u vijku, dok matica osigurava pa zbog toga može imati manju visinu. Normalna visina protumalice iznosi prema standardu $0,8 d$.

Za osiguranje vijčanih spojeva silom primjenjuju se i elementi za stvaranje radijalnog ili aksijalnog tlaka navoja matice na navoj vijka. Postoje mnoge različite izvedbe. Kod vibrirajućeg opterećenja vijčanog spoja, što je česti slučaj u strojarstvu, pouzdane su tzv. samokočne matice. Tako npr. četvrtasta matica (sl. 43 a) s konkavnom dosjednom površinom i prerezom deformira se stezanjem, tako da njen navoj tlači na navoj vijka radijalno i aksijalno. Protumatica dvodijelne matice prikazane na sl. 43 b stvara te tlakove s pomoću površina na kojima se dodiruje s maticom.

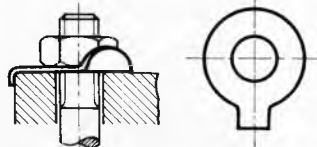
Plastične mase u tekućem stanju (prije otvrdnjenja) upotrebljavaju se u novije vrijeme za osiguranje vijčanih spojeva silom, tako da se pusti da djelovanjem kapilariteta prodru među površine unutrašnjeg i vanjskog navoja i da se nakon toga očvrstnu. Prednost takvog osiguranja ujedno je i brtvljenje spoja.

Elementi za osiguranje vijčanih spojeva oblikom. Za ta osiguranja mogu se upotrijebiti i zatici, ali obično za to služe rascjepke (zavlake), podložnice s produžecima ili pločice s jezičcima.

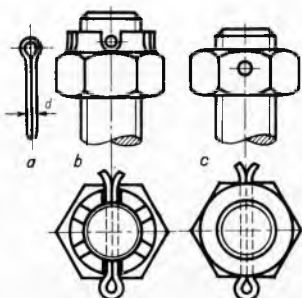
Rascjepka (sl. 44 a) je obično od čelične žice promjera d , uzdužnonapola presiječena. Ona se provlači kroz struk vijka (sl. 44 b), ili kroz struk i maticu (sl. 44 c), pa se s druge strane izvučeni krajevi račvasto rašire.



Sl. 43. Samokočne matice: a četvrtasta s konkavnom dosjednom površinom, b dvodijelna s konusom



Sl. 44. Rascjepka (zavlake)



Sl. 45. Podložnica s produžetkom

Obične podložnice za osiguranje vijčanih spojeva jesu čelične pločice koje imaju jedan produžetak (nos) (sl. 45), katkada mogu imati i dva. Nakon podmetanja pod maticu (ili pod glavu vijka) i stezanja spoja, taj se produžetak savije uz brid spojenog dijela, a rub podložnice uz jednu stranu matice ili glave vijka.

Prednost osiguranja vijčanih spojeva rascjepkama i podložnicama s produžecima jest u njihovoj jednostavnosti. Njihov nedostatak je u tome što ne dopuštaju fino podešavanje položaja matice.

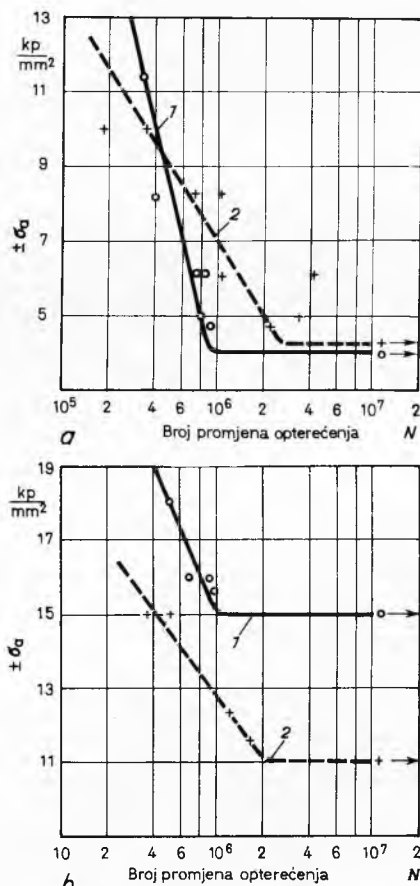
Ako se želi samo spriječiti gubitak matice, može se jednostavno malo raskovati kraj vijka iznad matice, ili upotrijebiti zavlatku na već prikazani način.

Vijci za prijenos gibanja. Za razliku od vijaka za pričvršćivanje, koji djeluju statički, vijci za prijenos gibanja (često zvani kretni vijci) djeluju dinamički, tj. giblju se u elementima koji su na njih navijeni, ili obrnuto, kad se ti elementi giblju, vijci su nepomični.

Pri tom gibanju nastaje klizanje navoja po navojima, a kao posljedica međusobno trenje i, dosljedno tome, istrošenje tih navoja, što zahtijeva primjenu čvršćih oblika navoja. To su trapezni, pilastrasti ili kosi i obli navoji. Prednost kosih navoja u kretnim vijcima je u tome što imaju manje trenje. Međutim, primjena pilastrastog navoja ograničena je na slučajeve, gdje aksijalne sile djeluju samo u jednom smjeru.

Najčešći su slučajevi primjene kretnih vijaka tamo gdje se gibanje pretvara iz kružnog u pravocrtno (npr. u vijčanim prešama, dizalicama, ventilima, alatnim strojevima, kočnicama). Rjeđe se upotrebljavaju za pretvaranje pravocrtnog u kružno gibanje.

Materijal, izrada i kakvoća vijaka i matice. Mehanička i druga svojstva koja vijci i matice moraju imati, ovisna su o materijalu od kojega su izrađeni. Zbog toga su svojstva materijala



Sl. 46. Wöhlerove krivulje vijka M $10 \times 1 \times 57$ Č 4131. a) Vijak izrađen normalnim postupkom (1) i nakon izrade poboljšanim postupkom (2); b) vijak predvaljan, poboljšanim i nakon toga hladno valjan navoj (1) i poboljšanim s prethodno valjanom navojem (2)

vijaka i matica točno određena i propisana standardima. Najvažniji među tim materijalima jesu čelici, mesing i aluminijum-ske legure.

Svojstva materijala čeličnih vijaka i matica određuje JUS, dok su im oznake Čv 40, Čv 50, Čv 60, Čv 80, Čv 100 i Čv 120. Prema tome vijci i matice izrađuju se u 6 kvaliteta. Vijci i matice za specijalne namjene, npr. postojani na visokim temperaturama, prema kemijskim utjecajima, otporni prema dinamičkim naprezanjima na niskim temperaturama, moraju se izrađivati od čelika za to prikladnih svojstava. Svojstva materijala vijaka od mesinga i drugih metala određena su također općim propisima standarda za te materijale.

Uz osnovni materijal za upotrebu vijaka i matica često je mjeorodavna i kakvoća njihove izrade, što je obuhvaćeno potrebnim tolerancijama i klasama hrapavosti površine. Kvaliteta vijaka i matica ovisi također i o postupku izrade. Iz prikaza te ovisnosti Wöhlerovim krivuljama na sl. 46 vidi se, kako o tome zavisi njihovo svojstvo, tj. njihova mehanička čvrstoća, odnosno izdržljivost.

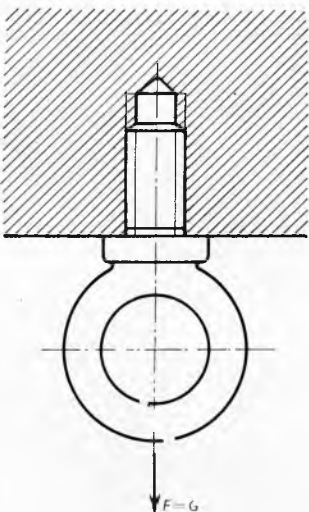
Od vijaka i matica koji su uz mehanička opterećenja izloženi i djelovanju korozije (naročito u obalskim postrojenjima, na brodovima, u vlažnim prostorijama), a nisu napravljeni od antikorozivnih materijala, traži se da budu još i zaštićeni. Zaštita vijčanih spojeva od korozije izvodi se s pomoću površinskih filmova od kemijski otpornijih tvari. Ti filmovi mogu se stvarati nanašanjem ili difuzijom.

U postupke zaštite od korozije spadaju npr. fosfatiranje i elektrolitičke metode (galvanizacija niklom, kromom, kadmijem, cinkom), uronjavanje (npr. u talinu cinka) i dr. Difuzijski postupak primjenjuje se npr. uspješno pri kromiranju čeličnih vijaka. Kod svih takvih postupaka dobiju se vrlo tanki zaštitni površinski slojevi $\sim 1\text{--}2 \mu\text{m}$.

Proračunavanje vijaka

Sile koje djeluju na vijke i koje stvaraju u njima naprezanja mogu biti privremene, trajne i izvanredne. Npr. sila je na ključu kojom se priteže matica privremena jer prestane kada se matica pritegne. Trajna sila je npr. sila tlaka pare koja protječe kroz cjevovod, a djeluje na vijke, što spajaju na pribudnicama niz cijevi u jednu cjelinu. To je trajna ili radna sila, jer djeluje na vijke kada para struji kroz cjevovod. Izvanredne sile su takve, koje se javljaju katkada iznenada, npr. od udara ili trenutnih vibracija kao posljedice neispravne montaže, ili su rezultat visokih temperatura. Sve navedene sile stvaraju u vijcima privremena ili trajna naprezanja, kojih je poznavanje važno za proračunavanje vijaka. S obzirom na međusobni odnos tih sila i naprezanja, vijci se dijele u četiri osnovne skupine, od kojih svaka ima svoje značajke, a prema tome i svoj način proračunavanja.

Vijci opterećeni na vlak (I skupina) uvijaju se u neopterećenom stanju, odnosno matice se navrću neopterećene. Primjer takvog slučaja može biti vijak s okom za dizanje tereta (sl. 47). Vijak se uvijek ručnom silom i ne pritegne se snažno, pa su zato unutarnje sile i naprezanja u vijku vrlo male, te se mogu zanemariti. Kada se oko optereti obješenim teretom G , koji djeluje kao trajna vanjska sila, onda će vijak biti izložen uzdužnoj sili F . Ta će sila izazvati u njegovoj jezgri naprezanja na vlak



Sl. 47. Vijak s okom za vješanje tereta

$$\sigma_v = \frac{F}{A_1} = \frac{F}{\pi d_1^2 / 4}$$

gdje je $F = G$, d_1 unutarnji promjer navoja, odnosno zavojnice, koji treba odrediti iz tog izraza. Međutim, najprije kod proračuna svih vijaka treba izabrati materijal vijaka, a prema

materijalu uzeti iz tablica odgovarajuće dopušteno naprezanje. U tom slučaju dopušteno naprezanje $\sigma'_{v dop}$ treba pomnožiti s korekcijskim faktorom $\xi_1 < 1$ koji obuhvaća koncentraciju naprezanja u jezgri i netočnosti kod izrade zavojnice. Obično je $\xi_1 = 0,7\text{--}0,9$, a prema tome je stvarno dopušteno naprezanje $\sigma_{v dop} = \xi_1 \cdot \sigma'_{v dop}$.

Onda se za proračun vijaka opterećenih jedino vlačnom silom F , uzima izraz

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

pa se iz površine jezgre A_1 nađe u tablici odgovarajući standardni promjer za izabrani oblik zavojnice. Poslije toga preporučljivo je provjeriti površinski pritisak na navojima p . On se izračunava iz

$$p = \frac{0,5 F}{d_2 H}$$

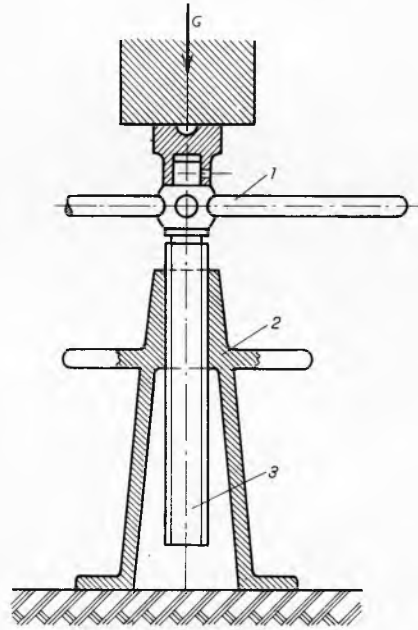
gdje je d_2 srednji promjer zavojnice, H visina matice ili, kad nema matice visina tzv. »zamišljene matice«. Taj stvarni površinski pritisak mora biti u dozvoljenim granicama, tj. $p \leq p_{dop}$, gdje se vrijednosti p_{dop} uzimaju iz tablica u priručnicima.

Za kontrolu površinskog pritiska može poslužiti i opći izraz

$$p = \frac{F}{z \pi d_2 b} \leq p_{dop}$$

gdje je z broj aktivnih zavoja, b korisna širina zavojnice.

Vijci opterećeni na vlak, odnosno na tlak i na torziju određenom silom (II skupina) uvijaju se pod stanovitim opterećenjem, odnosno matice se pritežu pod opterećenjem. Kao primjer takvog slučaja može poslužiti vijak ručne dizalice (sl. 48).



Sl. 48. Ručna vijčana dizalica. 1 Poluga, 2 kućište s maticom, 3 vijak

Uzdužna sila F koja se stvara u vijku kod dizanja tereta G , jest točno određena privremena vanjska sila, tj. $F = G$. Ona uzrokuje u jezgri vijka naprezanje na tlak

$$\sigma_p = \frac{F}{A_1} = \frac{E}{\pi d_1^2 / 4}$$

i naprezanje uslijed torzije zbog trenja i zbog djelovanja torzijskog momenta

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} = \frac{F d_2 \tan(\varphi + \rho)}{2 \pi d_1^3 / 16}$$

gdje je d_1 i d_2 unutarnji, odnosno srednji promjer navoja, $W_p = \frac{d_1^3}{16}$ polarni moment otpora presjeka jezgre vijka i M_t moment

torzije. Ta dva naprezanja treba složiti u jedno imaginarno (zamisljeno) naprezanje, prema izrazu iz nauke o čvrstoći

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \sigma + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha \tau)^2},$$

gdje je koeficijent popravka $\alpha = \frac{\sigma_v}{1,3 \tau_1}$, dok za σ treba staviti σ_p , odnosno σ_v . Taj izraz nije prikladan za neposredno proračunavanje potrebnog promjera vijka d . Transformacijom izraza s obzirom na trapeznu zavojnicu koja se najčešće upotrebljava za te vijke, može se pokazati, da je za praksu posve dovoljno računati takve vijke samo s obzirom na uzdužnu silu, odnosno s obzirom na normalno naprezanje. Torzija se izražava na taj način, što se vrijednost dopuštenog naprezanja σ_{dop} smanjuje množenjem sa dva faktora, i to sa ξ_1 , faktorom popravka u pogledu izrade, i ξ_2 , faktorom popravka s obzirom na zamjenu imaginarnog naprezanja σ_1 ekvivalentnim normalnim naprezanjem. Kako je srednja vrijednost $\xi_1 \cdot \xi_2 \approx 0,75$, to praktičan izraz za proračun glasi

$$A_1 = \frac{F}{0,75 \sigma_{dop}},$$

gdje je $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ površina presjeka jezgre vijka. Kako je na taj način određen promjer navoja odnosno vijka, to je preporučljivo provjeriti iznos stvarnog naprezanja s pomoću navedenog izraza za σ_1 . Međutim, najvažnije je u tom drugom slučaju kontrolirati površinski pritisak jer je navoj vrlo opterećen, pogotovo kod vijaka u stalnom pokretu. Kontrolira se s pomoću izraza

$$p = \frac{F}{z \pi d_2 b} \leq p_{dop}$$

koji je već naveden na kraju proračuna vijaka opterećenih samo na vlak, dok se vrijednosti p_{dop} , s obzirom na materijal vijka i matice, mogu naći u tablicama.

Kada je visina dizanja tereta (prema sl. 48) velika, to dugačko vijčano vreteno, opterećeno na pritisak, može biti izloženo još i izvijanju. Stoga u takvim slučajevima treba kontrolirati sigurnost vijčanog vretena protiv izvijanja s pomoću koeficijenta sigurnosti (v. *Nauka o čvrstoći*)

$$S = \frac{\sigma_k}{\sigma_p},$$

gdje je σ_k kritično naprezanje na izvijanje određeno koeficijentom vitkosti λ , σ_p stvarno naprezanje na tlak. Kada je $\lambda > 96$, taj je koeficijent (prema Euleru)

$$S = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 \sigma_p} \quad (\text{jer je } \sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}),$$

gdje je vitkost štapa $\lambda = \frac{l}{i}$, i polumjer inercije, l slobodna dužina izvijanja. Vrijednosti su tog koeficijenta za čelik 3 ... 6. Za slučaj kada je $\lambda < 96$, treba primijeniti Tetmajerov empirijski izraz za kritično naprezanje $\sigma_k = 31 - 0,114 \lambda$, pa je koeficijent sigurnosti jednak

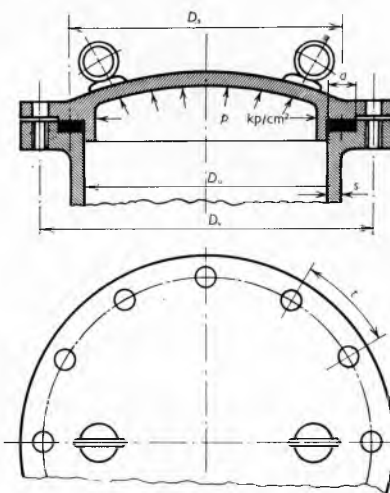
$$S = \frac{31 - 0,114 \lambda}{\sigma_p},$$

čije vrijednosti iznose 1,8 ... 4.

Takvu kontrolu treba provesti u svim slučajevima, kada su dugački vijci, odnosno vijčana vretena opterećeni na tlak, npr. kod zapornih ventila, i to bez obzira na bilo koje drugo djelujuće opterećenje.

Vijci opterećeni na vlak i na torziju proizvoljno velikom uzdužnom silom (III skupina). Ti vijci, kao i vijci II skupine, također se uvijaju pod opterećenjem, ali, u tom slučaju uzdužna sila nije određene veličine, već je proizvoljno velika. Takvi se vijci nalaze primjerice kod vijčanih spojeva cilindra kompresora sa svojim poklopcem, kod spojeva cijevi (u kojima struji medij pod tlakom) s pomoću prirubnica, ili kod spoja autoklava sa svojim poklopcem (sl. 49). Nepropusnost spoja osiguravaju umetnuti brtveni prsteni, rjeđe od metala (npr. bakar), češće od azbesta ili klingerita. Vijci moraju biti toliko zategnuti prethodnom uzdužnom silom da bi nepropusnost spoja bila osigurana i za

slučaj, kada u cilindru, odnosno u autoklavu ili cijevi, unutarnji tlak medija naraste do svog maksimuma. Ta sila, zvana *prethodna zatezna sila*, ostvaruje se matičnim ključem (sl. 50).



Sl. 49. Spoj poklopca autoklava

Moment sile na ključu M_t treba svladati moment otpora u navojima M_{t1} , i moment otpora trenja između matice i podloge M_{t2} , što znači da je

$$M_t = M_{t1} + M_{t2}.$$

Tu je $M_{t1} = F_0 \frac{d_2}{2} \tan(\varphi + \varrho_1)$, gdje je F_0 prethodna zatezna sila u vijku, d_2 srednji promjer navoja, φ kut uspona navoja, ϱ_1 kut trenja zavojnice.

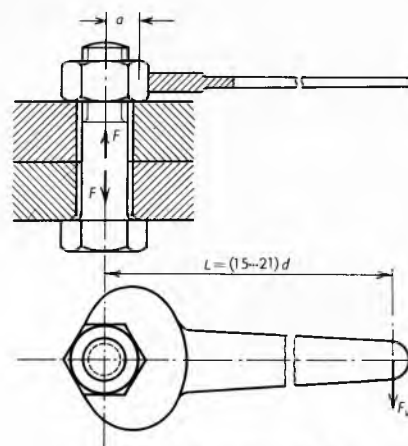
Transformacijom tog izraza u odnosu na vijke srednjih promjera, uz prosječnu vrijednost $\varphi + \varrho_1 = 10^\circ$, dobije se

$$M_{t1} \approx 0,1 F_0 d_1.$$

Moment otpora trenja ispod matice ne utječe na naprezanje u vijku, ni na predzatezanje, te iznosi

$$M_{t2} = F_0 a \tan \varrho_2 = \mu_2 F_0 a,$$

gdje je F_0 prethodna zatezna sila u vijku, a udaljenost od središnjice vijka do sredine dodirne površine matice i podloge (sl. 50), $\tan \varrho_2 = \mu_2$ koeficijent trenja između matice i podloge.



Sl. 50. Vijak, matica i ključ

Kako je srednja vrijednost $\mu_2 \approx 0,1$, a krak momenta $a \approx d_1$, spomenuti izraz prelazi u

$$M_{t2} = 0,1 F_0 d_1,$$

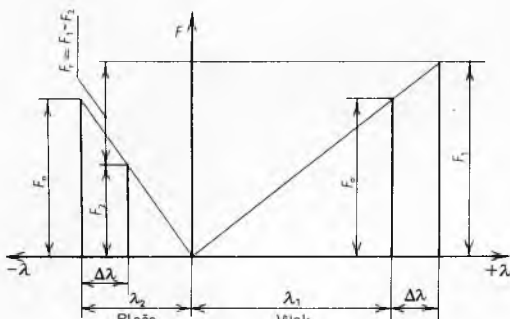
gdje je d_1 promjer jezgre vijka. Onda je moment sile na ključu

$$M_t = M_{t1} + M_{t2} = F_k L = 0,1 F_0 d_1 + 0,1 F_0 d_1 = 0,2 F_0 d_1$$

Tu je F_k ručna sila na ključu, L dužina ključa. Odatle je prethodna zatezna sila u vijku

$$F_0 = \frac{5 F_k L}{d_1}$$

Utjecaj vanjskih sila koje djeluju u radu, na prednapregnutu vezu vijcima III skupine. Stegnuti elementi u takvim slučajevima mogu se općenito nazvati pločama (sl. 50). Kod pritezanja matice javlja se u vijku unutarnja sila F koja ga razvlači i produžuje, dok obje ploče istovremeno stiska i time skraćuje njihovu debljinu. Kod toga naprezanja ne smiju preći granicu elastičnosti a ni proporcionalnosti, tj. $\sigma_v < \sigma_p$. Tako će između prednaprezanja i produženja, odnosno skraćanja, vrijediti Hookeov zakon. Kad se matica pritegne ključem, ostatak će u vijku prethodno zatezanje (prednapregnutost) F_0 koje rasteže vijak za iznos λ_1 . Dakle $F_0 = C_1 \lambda_1$. Istovremeno na ploče djeluje to isto prethodno zatezanje F_0 koje stišće ploče za λ_2 . Dakle $F_0 = C_2 \lambda_2$, gdje su C_1 i C_2 konstante materijala, koje pokazuju njihovu krutost. *Krutost* ili jedinična sila je sila koja rasteže ili skraćuje neki element za jedinicu dužine. Te deformacije prikazane su dijagramom na sl. 51. Kada počne djelovati još i vanjska sila u radu F_r , dijagram će se promijeniti. Radna sila F_r povećat će zatezanje u vijku i on će se zbog toga naknadno rastegnuti za $\Delta\lambda$, tako da će ukupno produženje biti $\lambda_1 + \Delta\lambda$. Po Hookeovom zakonu proporcionalnosti (v. *Nauka o čvrstoći*) tom ukupnom produženju odgovara sila F_1 . Za istu dužinu $\Delta\lambda$ promijenit će se i ploče, tako da će konačno skraćanje ploča iznositi $\lambda_2 - \Delta\lambda$. To skraćanje, po istom zakonu proporcionalnosti, može prouzročiti samo neka sila F_2 . Prethodna unutarnja sila F_0 promijenit će se i u vijku i u pločama od trenutka kada vijčani spoj postane izložen vanjskoj radnoj sili F_r , i to tako da će se sila rastezanja u vijku povećati od F_0 do F_1 , dok će se sila u pločama smanjiti od F_0 na F_2 . Iz toga slijedi, da i vijak i ploče sudjeluju u preuzimanju vanjske radne sile F_r proporcionalno svojim jediničnim silama, ali tako da se u novom stanju ravnoteže $F_1 \neq F_2$ i iz dijagrama vidi da je $F_r = F_1 - F_2$.



Sl. 51. Dijagram deformacija

Prema svemu tomu izlazi da stvarna sila rastezanja kojoj je izložen vijak i koja je mjerodavna za njegov proračun, nije jednaka zbroju prethodnog zatezanja F_0 i vanjske radne sile F_r , već nekoj drugoj sili $F_1 < F_0 + F_r$, koja se može odrediti s pomoću dijagrama na sl. 51, ako su poznati λ_1 , λ_2 i F_0 . Stvarno pritezanje vijka u radu treba da bude toliko jače, koliko su elementi, nazvani pločama, ili postavljene brtve elastičnije. Uvjet za predzatezanje je taj, da se ploče pod utjecajem vanjske radne sile F_r ne odvoje jedna od druge, jer bi time nepropusnost spoja bila izgubljena. Na temelju iskustva, praktična vrijednost sile predzatezanja iznosi

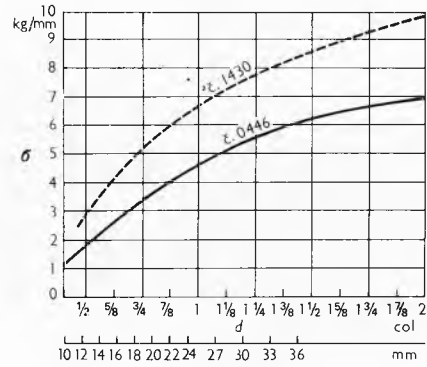
$$F_0 = (2 \dots 3) F_r$$

i zato vijci, pritegnuti pod opterećenjem te izloženi u radu proizvoljno jakoj uzdužnoj sili, ne smiju se proračunavati samo prema vanjskoj radnoj sili F_r , a ni prema bilo kakvoj sili predzatezanja F_0 , već prema gore navedenoj sili $F_0 \approx 2,5 F_r$.

Vijci čije se matice snažno pritežu, često su izloženi, ma i neznatnom, iskrivljenju izvanrednim silama koje nastaju uslijed neparalelnosti podloge matice i glave, što uzrokuje u njihovom struku dodatna, ponekad vrlo velika i zato štetna naprezanja na savijanje. Takve izvanredne sile treba izbjegavati pažljivom montažom vijaka u spoju. U prednapregnutim spojevima mogu se

javiti izvanredne sile i uslijed toplinskih dilatacija, koje uzrokuju sekundarna dodatna naprezanja kako u vijcima tako i u pločama. Kod viših temperatura ta naprezanja mogu biti znatna i zato nepoželjna, pa u proračunavanje vijaka treba tada uvrštavati manja dozvoljena naprezanja ili birati materijale postojeane na visokim temperaturama.

Prema razdiobi vijaka, u III skupinu spadaju vijci izloženi istovremenom vlaklu (rastezanju) i torziji, i u kojima uzdužna sila može imati proizvoljno veliku vrijednost. Uzdužna sila od predzatezanja povećava se u spoju, kada na njega počne djelovati još i vanjska radna sila. Određivanje te ukupne sile koja djeluje na vijak za vrijeme rada, nije jednostavno niti je uvijek moguće. Iz



Sl. 52. Dijagram dozvoljenih naprezanja $\sigma_{v \text{ dop}}$ za vijke (DIN 2507)

tih se razloga vijci te vrste računaju u praksi prema vanjskoj radnoj sili F , a dozvoljena naprezanja $\sigma_{v \text{ dop}}$ uzimaju iz dijagrama na sl. 52. Taj dijagram vrijedi za spojne vijke na cijevnim vodovima, kroz koje protječe voda pod tlakom, ali uz množenje s nekim popravnim faktorima manjim od 1; dijagram vrijedi i za vijke na stapnim strojevima, npr. na cilindru kompresora. Prema tome dopušteno naprezanje σ'_v u vijcima bit će

$$\sigma'_{v \text{ dop}} = \xi_3 \cdot \sigma_{v \text{ dop}}$$

gdje je za vodu do 120 °C $\xi_3 = 1$, za plinove ili paru do 300 °C $\xi_3 = 0,8$ i za pregrijanu paru do 400 °C $\xi_3 = 0,64$.

Potrebna unutarnji promjer vijka može se odrediti i neposredno prema empirijskoj formuli

$$d_1 = \xi_4 \sqrt{F_r} + 0,5 \text{ cm,}$$

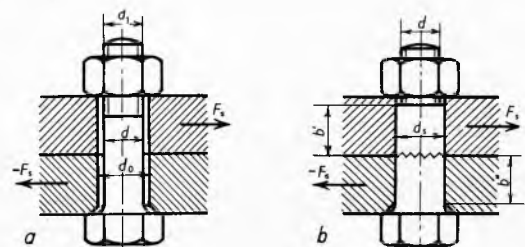
gdje je F_r (kp) vanjska radna sila, ξ_4 faktor kvalitete izrade zavojnice, koji iznosi 0,4...0,5.

Prema tako izračunatom d_1 treba iz dijagrama na sl. 52 naći odgovarajuće dozvoljeno naprezanje i provjeriti ga s pomoću izraza

$$\sigma_v = \frac{F_r}{A_1} = \frac{F_r}{\pi d_1^2 / 4}$$

Vijci izloženi djelovanju poprečnih sila. Poprečne sile mogu ponekad prouzrokovati u vijku naprezanje na vlak, na savijanje i na smicanje (odrez). Postoje tri načina za poništenje poprečnih sila, za čije preuzimanje vijak kao konstruktivni element nije inače pogodan.

Prvi način. Vijak se stavi u rupu promjera d_0 koji je nešto veći od promjera vijka d (sl. 53 a). Ploče ili limovi stegnu se maticom toliko snažno, da se stvori otpor protiv klizanja limova, koji drži



Sl. 53. Neprilagođeni vijak (a) i prilagođeni vijak (b)

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

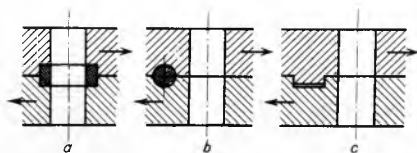
$$d_s = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

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.

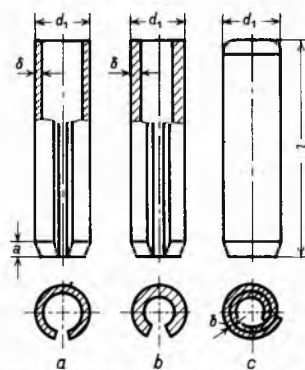
Svornjaci su zaticima slični deblji elementi strojeva, koji većinom služe za zglobno spajanje dijelova.

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.

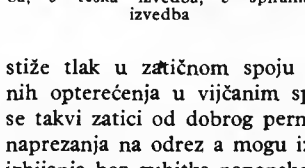
Zatici se međusobno razlikuju oblikom i namjenom. Prema podijeli zatika na toj bazi, razlikuju se jednostavni zatici i zatici za podešavanje i za čvrste spojeve. Kao jednostavni zatik može već poslužiti i obična žica. Bolji jednostavni zatik jest rascjepka (v. str. 226). Zatici za podešavanje i čvrste 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.



Sl. 55. Oblici punih cilindričnih zatika: a) sa zaobljenim krajevima, b) s krajevima oblika niskog stošca, c) s ravnim krajevima



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

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 šuplji cilindrični zatici s procjepom (sl. 56 c) koji stvaraju jednolični tlak u spoju, pa su prikladni za preuzimanje dinamičkih opterećenja.

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.