

VIJČANI SPOJEVI

Pomoćni nastavni materijali uz kolegij
"Konstrukcijski elementi I"

Ak. godina 2010./11.

Nositelji kolegija:

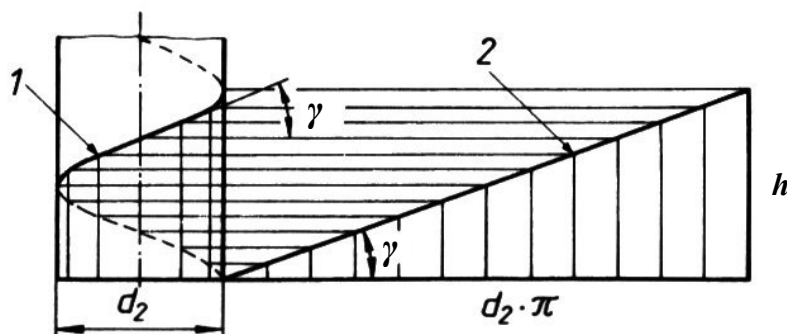
Prof. dr. sc. Božidar Križan

Prof. dr. sc. Saša Zelenika

VIJČANI SPOJEVI

NAVOJ

Navojna linija (zavojna linija, zavojnica) nastaje namatanjem hipotenuze pravokutnog trokuta na cilindar.



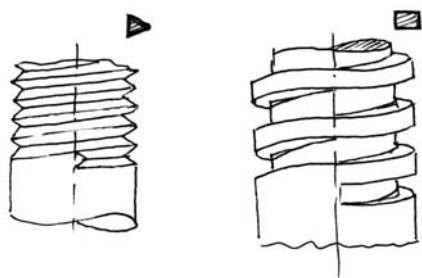
1 - navojna linija,

2 - odmotana navojna linija, tj. hipotenuza pravokutnog trokuta,

h - uspon

Kut uspona navoja: $\tan \gamma = \frac{h}{d_2 \pi}$

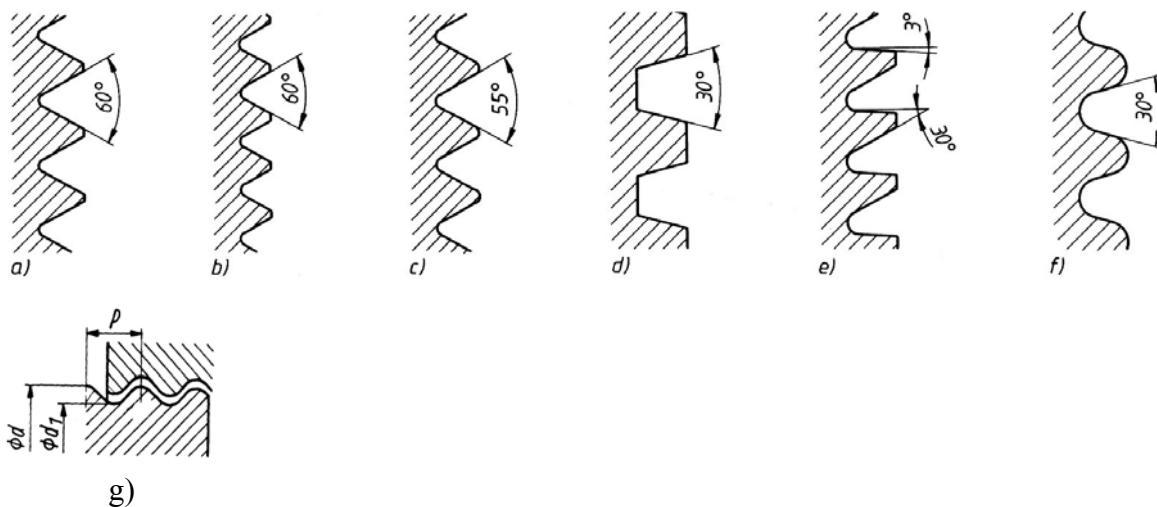
Kad bi po navojnoj liniji oko cilindra namatali žice trokutastog, pravokutnog ili drugih presjeka, dobili bi navoje trokutastog, pravokutnog ili drugih profila zuba:



Vijak ima *vanjski* navoj, izrađen na vanjskoj površini cilindra. Matica ima *unutarnji navoj* izrađen u cilindričnom provrtu. Unutarnji navoj može biti izrađen i u provrtu u nekom strojnom dijelu.

Matica koja se na vijku okrene za 360° , napraviti će u aksijalnom smjeru put koji je jednak usponu h .

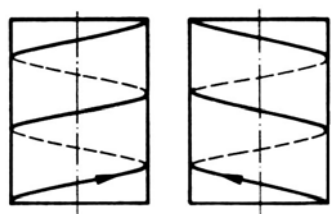
Najčešće vrste navoja:



- a) Metrički navoj; najčešći standardni navoj
- b) Fini metrički navoj; ima manju dubinu navoja i korak od normalnog metričkog navoja
- c) Whitworth-ov cijevni navoj; tradicionalni cijevni navoj porijeklom iz Velike Britanije
- d) Trapezni navoj; za vretena, ima manje trenje od metričkog navoja
- e) Pilasti navoj; za vretena, ima manje trenje od trapeznog, ali podnosi opterećenja samo u jednom smjeru
- f) Obli navoj; za spojnice željezničkih vagona, neosjetljiv na oštećenje i prljavštinu
- g) Obli elektro-navoj (Edisonov navoj); za grla žarulja i električne osigurače

Navoji mogu biti:

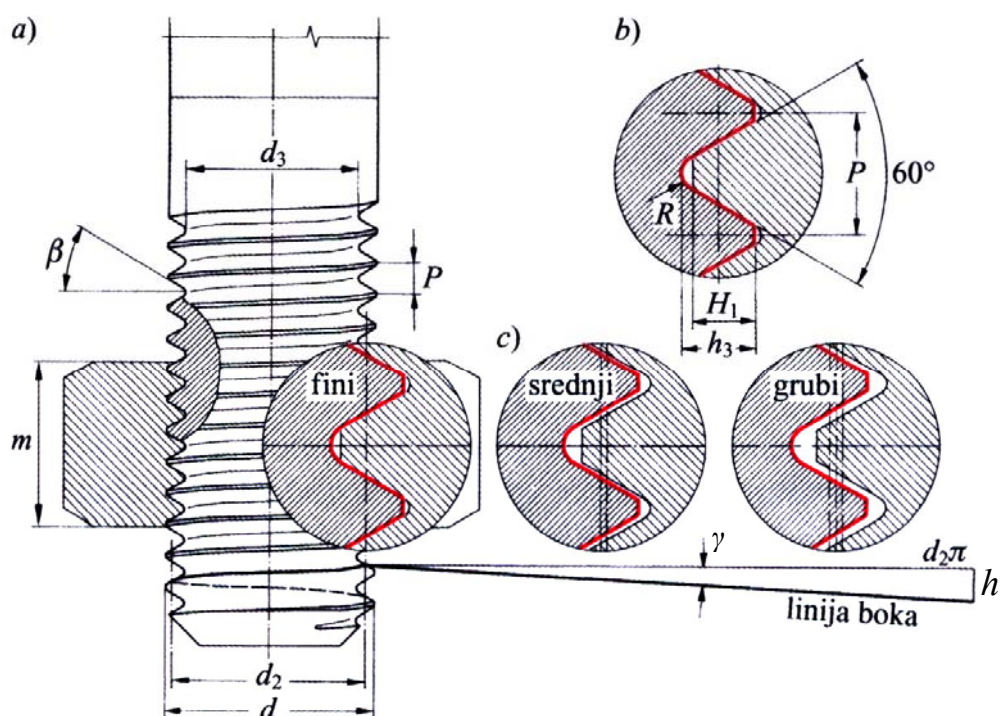
- desnovojni koji su standardni
- lijevovojni za posebne namjene: ventili plinskih boca, natezači čelične užadi



Desnovojni
navoj

Ljevovojni
navoj

Oznake:



a) Vijak i matica:

- d = vanjski nazivni promjer vijka
- d_2 = srednji promjer navoja (bokova)
- d_3 = promjer korijena navoja vijka (promjer jezgre);
za metričke navoje je $d_3 = d - 1,22687 \cdot P$
- P = korak navoja (udaljenost između dva susjedna zupca)
- β = kut nagiba boka zuba (kut profila)
- D_1 = unutarnji promjer navoja matice
- m = visina matice
- h = uspon navoja
- γ = kut uspona

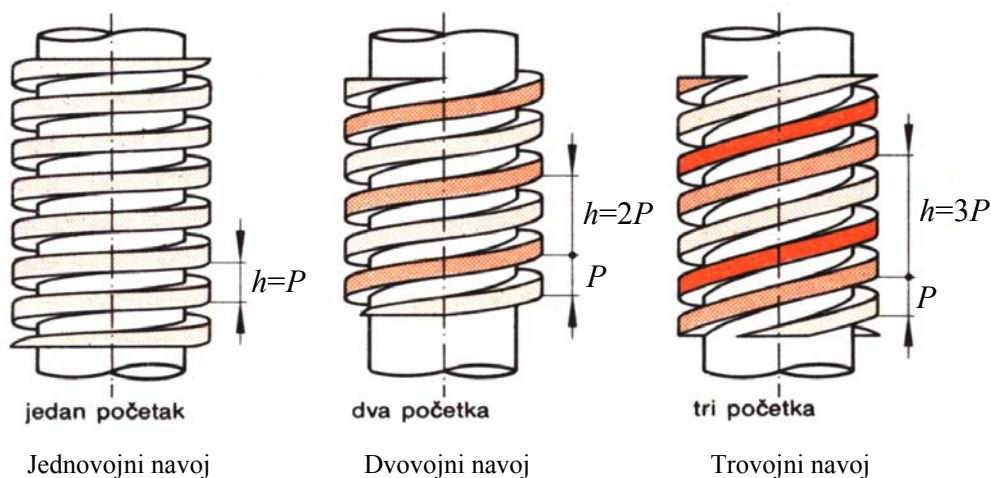
b) Profil metričkog ISO navoja:

- H_1 = nosiva dubina navoja
- h_3 = dubina navoja
- R = polumjer zaobljenja u korijenu navoja

c) Prema kvaliteti izrade, tj. hrapavosti i točnosti izmjera i oblika, vijci i matice se dijele u sljedeće klase (DIN 267):

- F - fina
- A - srednja - za opću upotrebu
- B - srednje gruba
- C - gruba

Navoj može imati jedan ili više početaka pa se govori o jednovojnom ili viševojnom navoju. Viševojni navoji imaju veći uspon h .



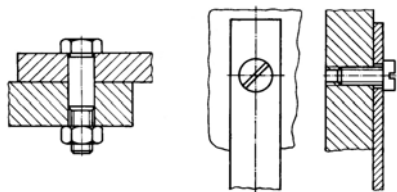
Označavanje navoja na crtežima:

- Metrički navoj, npr. M 12; broj označava vanjski promjer $d = 12$ mm.
- Fini metrički navoj ima manju dubinu navoja i korak od normalnog metričkog navoja, npr. M 3 x 0,35; $d = 3$ mm, $P = 0,35$ mm.
- Whitworth-ov cijevni navoj:
 - vanjski navoj, npr. G 3/4; prema DIN ISO 228; unutarnji promjer cijevi je $\approx 3/4$ "
 - vanjski navoj, npr. R 3/4 za spojeve gdje je unutarnji navoj cilindričan, a vanjski koničan 1:16; prema DIN 2999 i DIN 3858; unutarnji promjer cijevi je $\approx 3/4$ "; spojevi se brtve na navoju kudjeljom ili teflonskom trakom
 - unutarnji cijevni navoj se označava G_p 3/4, odnosno R_p 3/4.
- Trapezni navoj:
 - npr. Tr 36 x 6; $d = 36$ mm, $P = 6$ mm.
 - npr. Tr 52 x 24 P8; $d = 52$ mm, $h = 24$ mm, $P = 8$ mm (trovojni navoj)

VRSTE VIJČANIH SPOJEVA

Vijčani spojevi su najčešće korištena vrsta rastavljivih spojeva. Glavni elementi vijčanog spoja su:

1. Vijak na kojem je izrađen vanjski navoj
2. Matica ili cilindrični provrt u strojnom dijelu u kojima je izrađen unutarnji navoj
3. Podložna pločica ili osigurač - po potrebi.



Vijak s maticom
(pričvrсни vijak)

Vijak u provrtu s
unutarnjim navojem (pričvrсни vijak)

Postoje vijci koji pomoću svrdla na vrhu sami u metalu buše rupu i urezuju navoj:



Neke vrste vijaka za metal, ciglu i beton same u provrtu urezuju unutarnji navoj.

Vrste vijčanih spojeva s obzirom na namjenu:

1. Pričvrсни vijčani spojevi:

- za međusobno spajanje dijelova (gornja slika)
- za napinjanje čelične užadi: okretanjem dvostruke matice se uške međusobno približavaju, odnosno udaljavaju



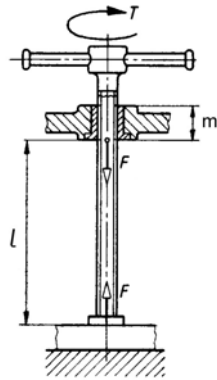
Desni navoj

Dvostruka matica

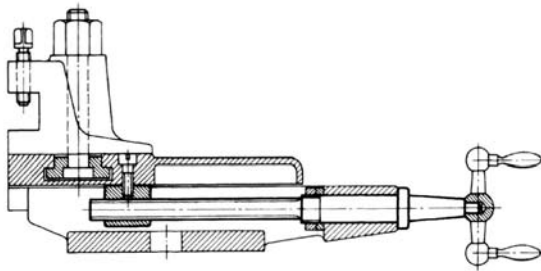
Lijevi navoj

2. Pokretni vijčani spojevi ili "vijčani pogoni": rotacijsko gibanje vijka (vretena) se pretvara u uzdužno pomicanje matice ili vijka (vretena) pri čemu je ponekad bitno proizvesti veliku aksijalnu silu. Primjeri:

- vretena na prešama: proizvodi se velika aksijalna sila

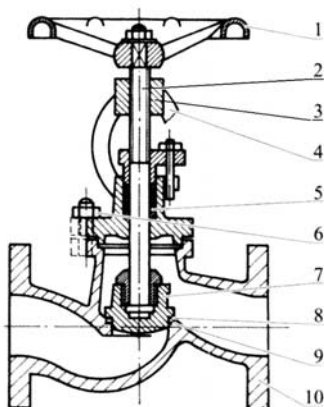


- vretena na tokarskim i drugim obradnim strojevima



Slika 2.27. Vijak za pokretanje u suportu stroja

- vretena u ventilima

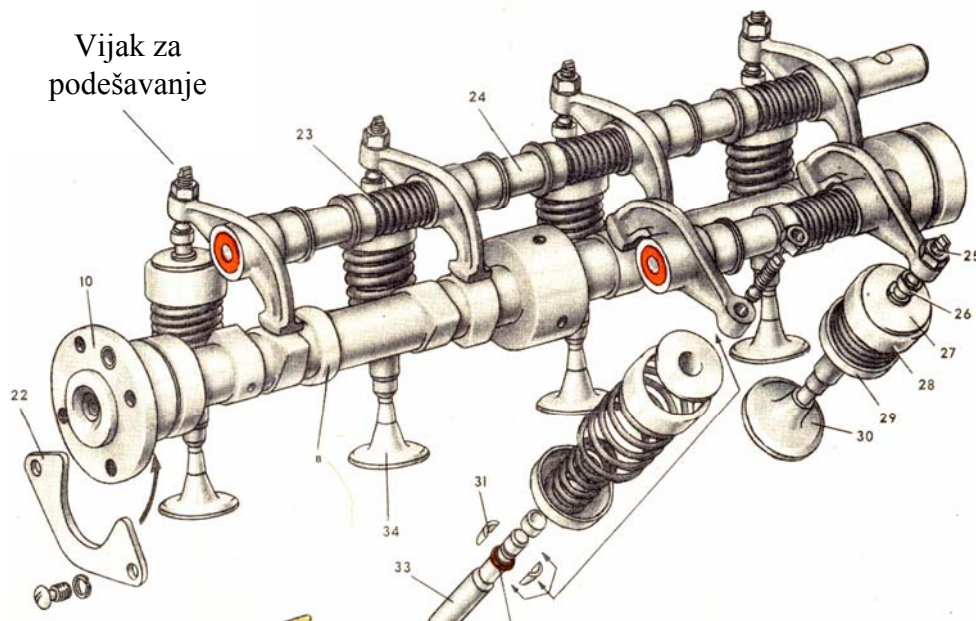


Slika 14.29. Prolazni ventil

1 ručno kolo; 2 vreteno; 3 matica; 4 kračun; 5 brtvilo brtvenice; 6 vijak poklopca; 7 tanjurasti zapornik; 8 prsten u zaporniku; 9 prsten u kućištu; 10 kućište

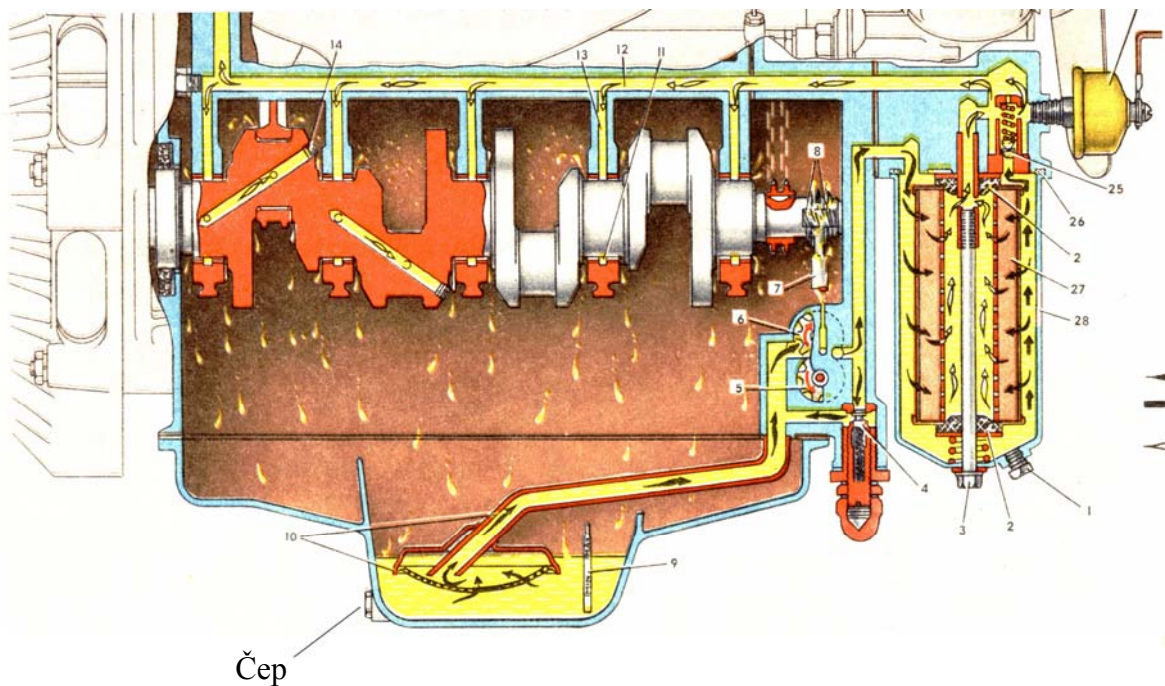
3. Vijčani spojevi za podešavanje:

- za podešavanje ventila motora, sigurnosnih ventila i sl.



- kao noge služe za niveliranje kućanskih aparata (npr. hladnjaka), strojeva, kioska i sl.

4. Brtveni vijci: služe kao čepovi, npr. na karteru automobilskog motora.

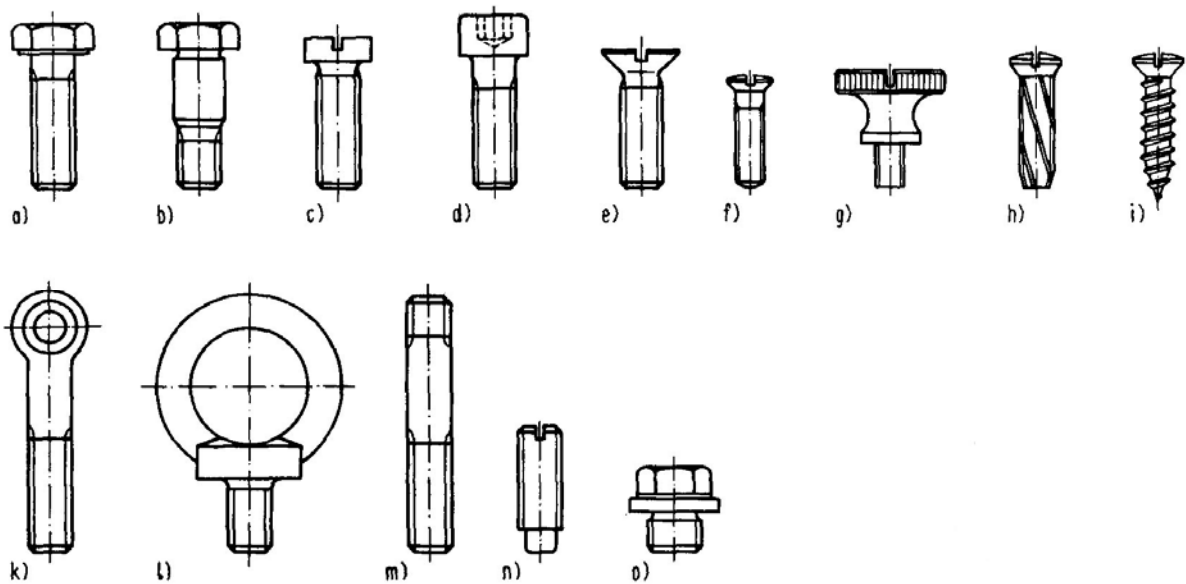


5. Mjerni vijci: kod mjernih uređaja, npr. mikrometarske mjerke, okretanjem vijka u fiksnoj matici pomiče se mjerni tanjurić



VIJCI

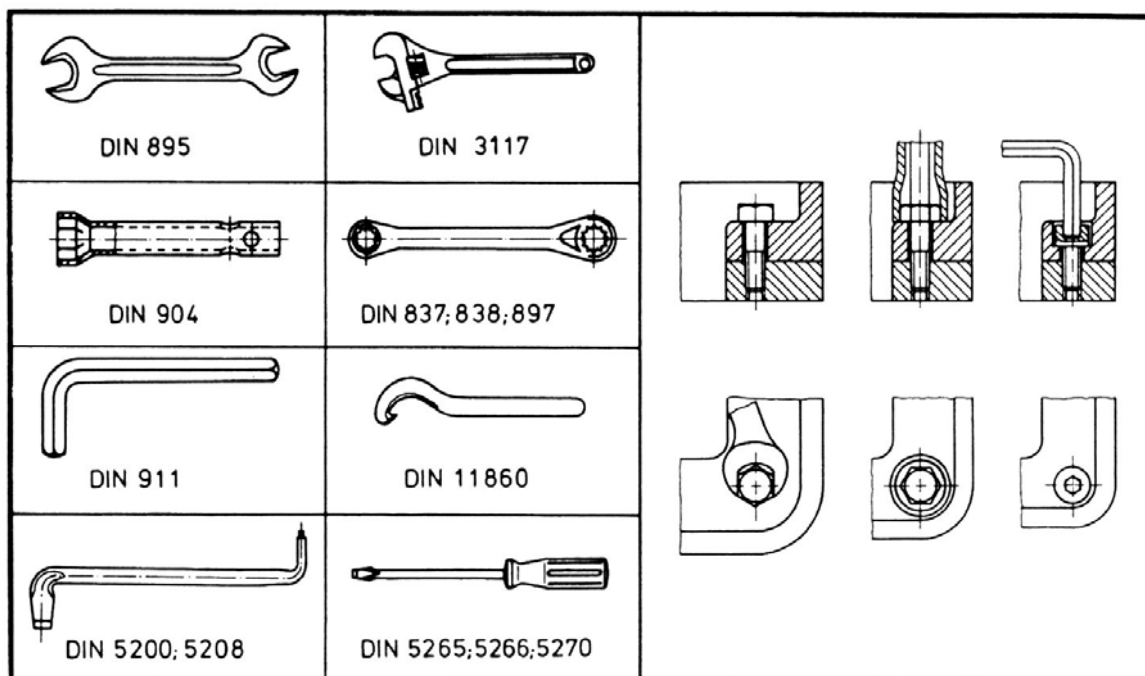
Najčešće vrste pričvrtnih vijaka:



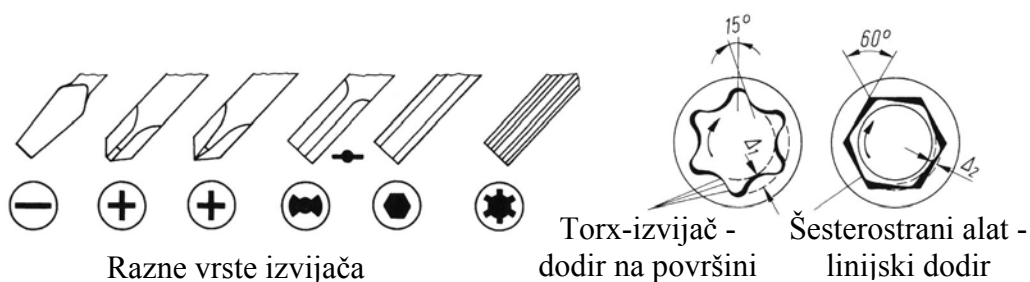
- a) Vijak sa šestostranom glavom; b) Vijak za točno nalijeganje (kalibrirani vijak); c) Vijak s cilindričnom glavom; d) Vijak s cilindričnom glavom s unutarnjim šesterokutom (za imbus-ključ); e) Vijak s upuštenom glavom; f) Vijak s upuštenom lećastom glavom; g) Vijak s nareckanom glavom za ručno pritezanje; h) Vijak sa samorežućim navojem; i) Vijak za lim (sličnog koničnog oblika su vijci za drvo); k) Vijak s uškom; l) Vijak s prstenastom glavom; m) Svorni vijak; n) Zatik s navojem; o) Čep s navojem

- Vijci pod a), b) i o) se pritežu ključevima za šesterokutne glave i matice;
- Vijci pod c), e), f), g), h), i) i n) se pritežu izvijačem s plosnatim vrhom;
- Vijak pod d) se priteže inbus-ključem;
- Vijci pod k) i l) se pritežu podesnim alatom;
- Vijak pod g) i svorni vijak pod m) se uvrću ručno.

Prostor potreban za pritezanje i otpuštanje vijka ovisi o vrsti vijka, odnosno potrebnoj vrsti ključa. Najmanje je mjesta potrebno za inbus-vijke pa se oni mogu smjestiti neposredno jedan uz drugi.



Osim plosnatog izvijača se koriste i drugi oblici. Torx-sistem je dobar jer se sila na maticu ili glavu vijka ne prenosi po nekoliko linija nego po nekoliko površina.



Najčešći materijal za izradu vijaka je čelik visoke istezljivosti kod kojega nema opasnosti od krhkog loma. U elektrotehnici se zbog dobre vodljivosti koristi mjed. Koriste se i laki metali, a u zadnje vrijeme i polimeri (umjetne plastične mase).

Čelični vijci se dijele u razrede čvrstoće:

Razred čvrstoće vijka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	14.9
R_m (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000	1200	1400
R_e (N/mm ²)	240	320	300	400	480	-	-	-	-
$R_{p0.2}$ (N/mm ²)	-	-	-	-	-	640	900	1080	1260
A_5 (%)	22	14	20	10	8	12	9	8	7
Odgovarajući materijal	Č0370	Č0370	Č0545	Č1330	Č1430	Č1730	Č4130	Č4732	Č5431
Pripadajući razred čvrstoće matice	4	4	5	5	6	8	10	12	14

A_5 = relativno izduženje (dilatacija) ε pri lomu (za probnu epruvetu s $l_0=5 \cdot d_0$).

Navedene čvrstoće vrijede za temperature do 350 °C. Iznad toga treba koristiti specijalne materijale.

Oznaka razreda čvrstoće znači:

Npr. **6.8**:

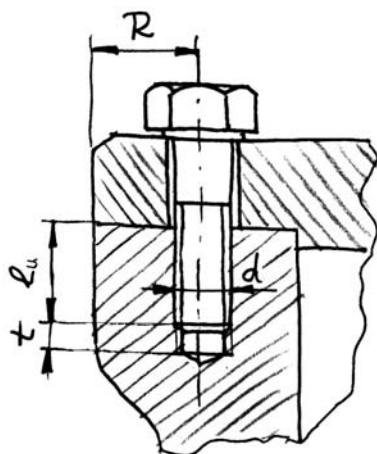
- prvi broj x 100 = 6 x 100 = 600 N/mm² = R_m

- prvi broj x drugi broj x 10 = 6 x 8 x 10 = 480 N/mm² = R_e

Vijci razreda čvrstoće 6.8 i čvršći moraju oznaku razreda čvrstoće imati vidljivo otisnutu na glavi vijka.



Duljina navojnog dijela vijka odabire se po konkretnoj potrebi. Ako se vijak uvrće u podlogu, duljina navojnog dijela vijka mora biti veća od dubine uvrtanja l_u , osim kod svornih vijaka gdje je jednaka.



Materijal podloge		Najmanja dubina uvrtnja l_u (mm) ¹⁾			
		Razred čvrstoće vijka			
		4.6	4.8...6.8	8.8	10.9
Čelik	$R_m \leq 400 \text{ N/mm}^2$	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	-	-
	$400 \leq R_m \leq 600 \text{ N/mm}^2$	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	-
	$600 \leq R_m \leq 800 \text{ N/mm}^2$	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$
	$R_m > 800 \text{ N/mm}^2$	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,0 \cdot d$	$1,0 \cdot d$
Sivi lijev		$1,3 \cdot d$	$1,5 \cdot d$	$1,5 \cdot d$	-
Cu-slitine		$1,3 \cdot d$	$1,3 \cdot d$	-	-
Lake kovine ²⁾	Čisti aluminij	$1,6 \cdot d$	$2,2 \cdot d$	-	-
	Nekaljene Al-slitine	$1,2 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	-	-
	Kaljene Al-slitine	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	-
Bijela kovina, umjetne plastične mase		$2,5 \cdot d$	-	-	-

1) Za fine navoje dubina uvrtnja treba biti za 25 % veća.

2) Za dinamička opterećenja treba dubinu uvrtnja povećati za oko 20 %.

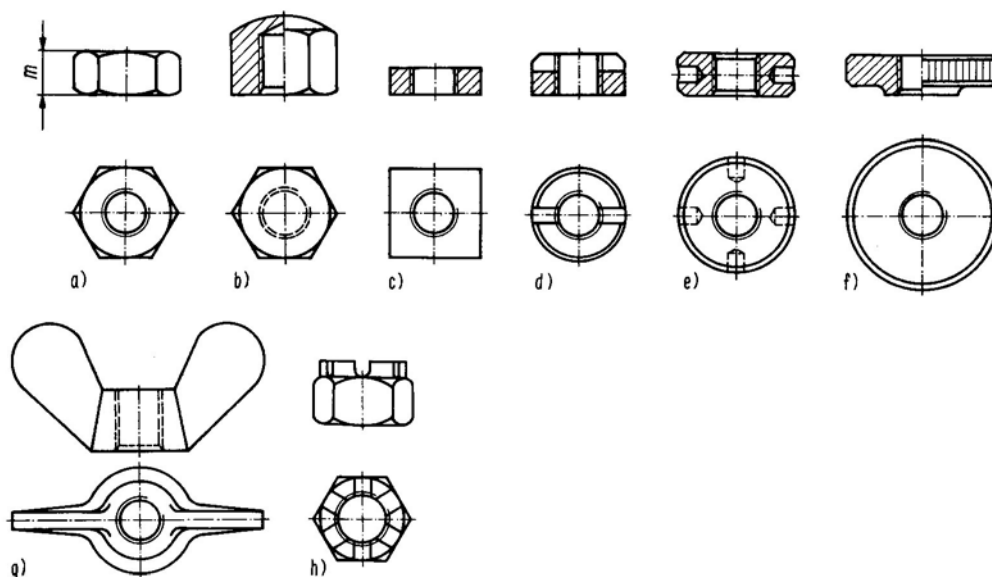
Os vijka treba biti na primjerenoj udaljenosti R od ruba:

Materijal podloge	R_{\min}
Čelik	$\approx 0,75 \cdot d$
Sivi lijev, Cu-slitine	$\approx 0,8 \cdot d$
Lake kovine	$\approx 1,0 \cdot d$
Bijela kovina, umjetne plastične mase	$\approx 1,25 \cdot d$

Dubina rupe s navojem treba za oko tri koraka ($3 \cdot P$) biti veća od dubine uvrtnja l_u , kako se ne bi dogodilo da vijak dođe do kraja navoja prije nego što su dijelovi koje treba spojiti dobro pritegnuti.

MATICE

Najčešće vrste matica:



a) Šesterostrana matica; b) Šesterostrana zatvorena matica; c) Četverostrana matica; d) Matica s čeonim urezom; e) Matica s rupama po obodu; f) Nareckana matica; g) Krilasta matica (za ručno pritezanje); h) Krunasta matica

Čelične matice se dijele u razrede čvrstoće:

Razred čvrstoće	4	5	6	8	10	12	14
R_m (N/mm ²)	400	500	600	800	1000	1200	1400

Oznaka razreda čvrstoće znači:

Npr. 6:

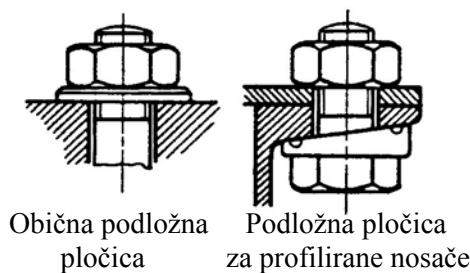
$$\text{- broj} \times 100 = 6 \times 100 = 600 \text{ N/mm}^2 = R_m$$

Matice većih čvrstoća moraju na sebi imati otisnutu oznaku razreda čvrstoće.

PODLOŽNE PLOČICE

Podložne pločice (podloške) su najčešće okruglog oblika, s rupom kroz koju prolazi vijak. Ne osiguravaju vijak od odvrtanja i koriste se u sljedećim slučajevima:

- kad je površina podloge na koju dolaze matica ili glava vijka loše obrađena, tj. kad je neravna,
- kad je rupa za vijak u podlozi znatno veća od promjera vijka,
- kad se spoj često rastavlja, kako se ne bi oštetila podloga,
- kad je podloga mekana, kako bi se povećala površina na koju se ostvaruje pritisak
- kad je podloga kosa, što je slučaj kod spajanja U ili I-profila



OSIGURANJE VIJČANOG SPOJA OD ODVRTANJA

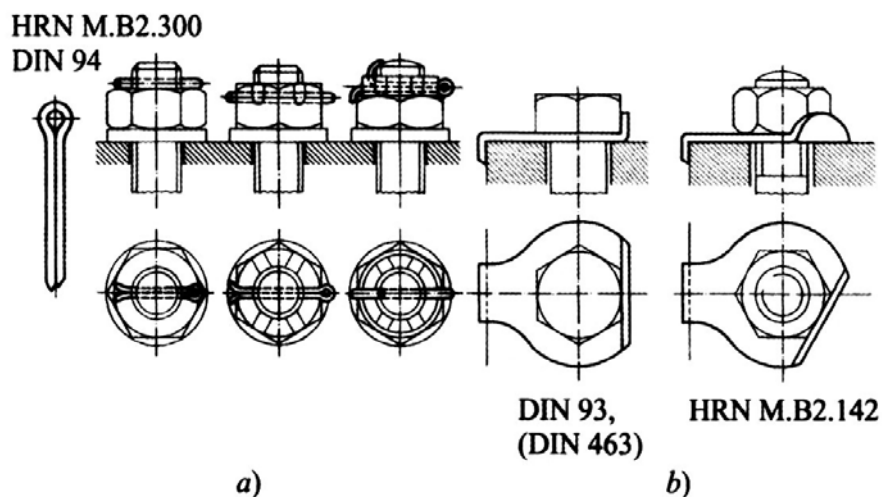
Osiguranje vijčanog spoja od odvrtanja kod statičkih opterećenja nije potrebno, ali se primjenjuje kod dinamičkih opterećenja. Naime, nakon pritezanja vijka dolazi do djelomičnog slijeganja hrapavosti dodirnih površina, može doći do puzanja materijala vijka, a može doći i do lokalnih plastičnih deformacija. Sve to, potpomognuto promjenama opterećenja i eventualnim vibracijama, može rezultirati otpuštanjem vijčanog spoja.

U pravilu su dobro proračunati, oblikovani i pritegnuti vijčani spojevi već osigurani protiv neželjenog odvrtanja. To prije svega vrijedi za visokoopterećene spojeve s elastičnim vijcima razreda čvrstoće 8.8 i više, uz male hrapavosti dodirnih površina.

a) Osiguranje oblikom

Osiguranje oblikom se postiže:

- rascjepkom s običnom ili krunastom maticom; rascjepka prolazi kroz poprečni provrt u vijku i
- sigurnosnim limom s izdancima; jedan izdanak se priljubi uz maticu, a drugi savije oko ruba.



a) Osiguranje od odvrtanja pomoću rascjepke; b) Osiguranje od odvrtanja pomoću sigurnosnog lima

b) Osiguranje silom

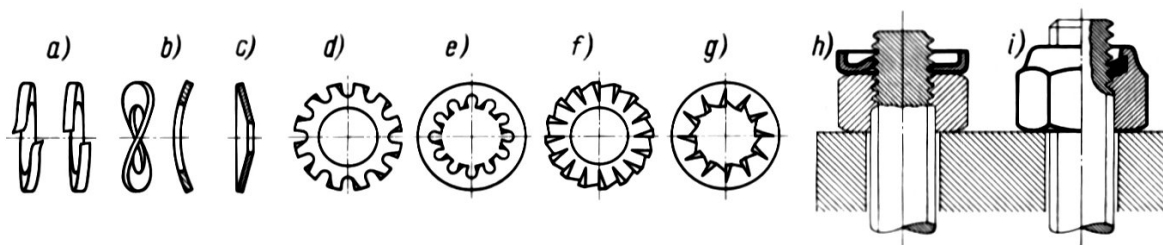
Umetanjem posebnih opružnih elemenata se osigurava aksijalna sila prednapona i pri djelovanju najveće radne sile, makar je došlo do slijeganja hrapavosti ili plastičnih deformacija. Ovi elementi su u obliku rasječenih, zakrivljenih ili tanjurastih prstena (pločica), a izrađeni su od opružnog čelika. Nazivaju se i "elastične podloške".

Razne zupčaste i lepezaste prstenaste pločice se svojim zupcima utiskuju u podlogu, povećavaju trenje i tako sprečavaju odvrtanje. Ovakvo osiguranje nije primjenjivo na tvrdim kaljenim površinama.

Veće trenje i sprečavanje odvrtanja matice se postiže i sigurnosnom limenom maticom od opružnog čelika koja s unutarnje strane ima više jezičaca koji se zabijaju u navoj. Česta je upotreba dvije matice - protumatice manje visine koja se priteže na podlogu i normalne matice koja se priteže na protumaticu (u praksi se često matice pogrešno montiraju obratno - slika). Matice mogu biti i jednake.

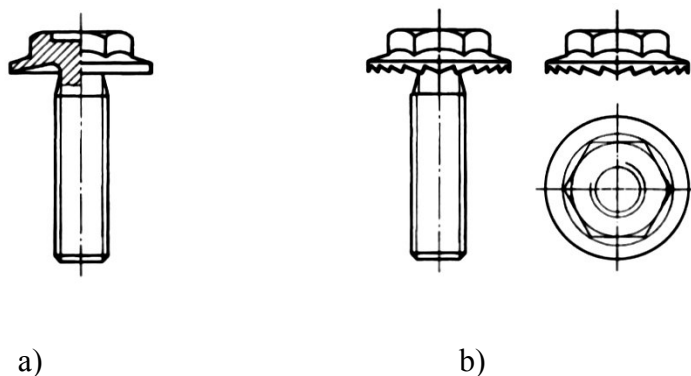
Vanjska matica sprečava otpuštanje unutarnje, a na površini njihovog dodira se javlja i dodatno trenje.

Za jednokratnu upotrebu se koriste matice s uloškom od umjetne plastične mase u koji vijak urezuje navoj.



a) Rasječeni elastični prsteni; b) Zakrivljeni elastični prsteni; c) Tanjurasta elastična pločica; d) i e) Zupčaste pločice; f) i g) Lepezaste pločice; h) Sigurnosna limena matica; i) Sigurnosna matica s poliamidnim uloškom – za jednokratnu upotrebu

Tanjuraste i zupčaste elastične pločice se mogu integrirati s glavom vijka, odnosno maticom.



Integrirana izvedba osigurača:

- a) Osiguranje tanjurastom elastičnom pločicom kod vijka;
- b) Osiguranje ozubljenjem kod vijka i matice

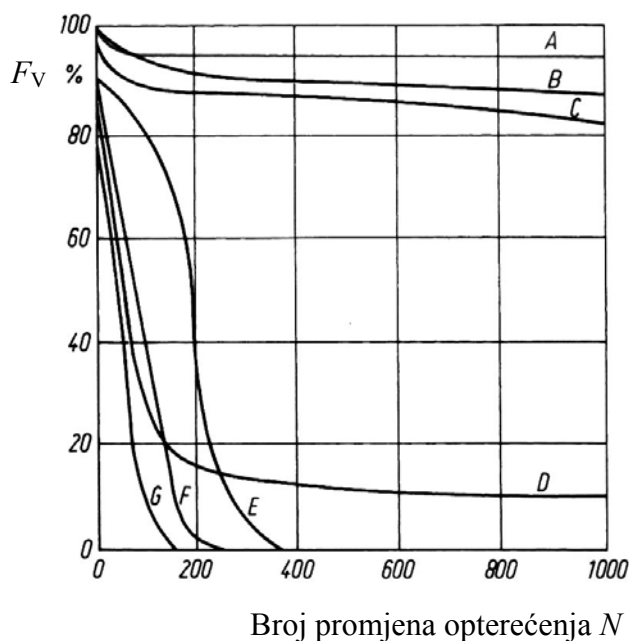


Matica s protumaticom

c) Osiguranje materijalom

Vrši se lijepljenjem navoja umjetnim smolama. Često se koristi ljepilo "Loctite" kojim se mogu postići vodonepropusni spojevi, npr. kod spajanja cijevi. Moguće je i zavarivanje glave vijka ili matice za podlogu za što postoje i posebni vijci i matice.

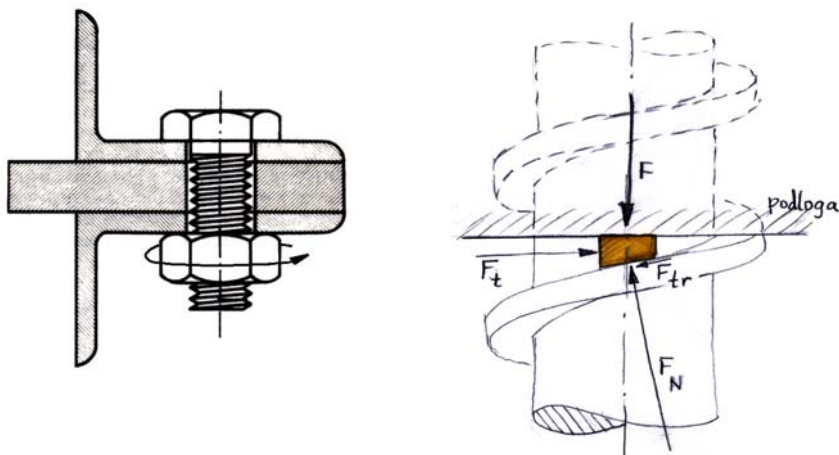
Efikasnost osiguranja od ovrtnja je prikazana u dijagramu ovisnosti pada sile prednapona F_V o broju promjena opterećenja N .



A - Loctite, B - tanjurasta elastična pločica integrirana s glavom vijka, C - zupčasta pločica integrirana s glavom vijka, D - matica s poliamidnim uloškom, E - vijak sa zupčastom pločicom, F - vijak s lepezastom pločicom, G - neosigurani vijčani spoj. Linija za rasječene elastične prstene se nalazi između linija F i G.

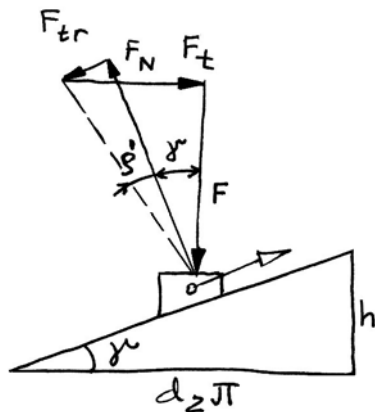
SILE I MOMENTI U VIJČANOM SPOJU

Radi pojednostavljenja se razmatra navoj pravokutnog profila, a matica se svodi na jedan element na promjeru d_2 . Na element djeluju neke elementarne sile, ali će se radi jednostavnosti odmah računati s ukupnim silama. Prilikom pritezanja matice se taj element uklinjuje između podloge i navoja vijka.



Promatrani element (odnosno matica) može se dalje okretati samo ako se vijak produlji i podloga sabije (skrati). To će se pri daljnjem pritezanju i dogoditi, što znači da će vijak biti opterećen aksijalnom vlačnom silom F , a podloga istom silom tlačno.

Za guranje elementa tj. matice uz kosinu pod kutem uspona γ , potrebna je tangencijalna (obodna) sila F_t . Na mjestu dodira elementa matice i navoja vijka djeluju normalna sila F_N i sila trenja F_{tr} , a s podloge se još prenosi i sila F . Kad se vijčani spoj priteže, može se zamisliti da se matica "penje" po navoju.



Tangencijalna sila

$$F_t = F \cdot \tan(\gamma + \rho')$$

Sila trenja

$$F_{tr} = F_N \cdot \mu'_G = F_N \cdot \tan \rho'$$

μ'_G = korigirani faktor trenja na navoju čija veličina ovisi o materijalu vijka i matice, površinskoj obradi i podmazanosti. Okvirno je $\mu'_G = 0,09 \dots 0,20$. Najčešće je $\mu'_G \approx 0,12$.

ρ' = kut trenja

Da bi se proizvela sila F_t , odnosno aksijalna sila u vijku F , treba djelovati momentom pritezanja na navoju

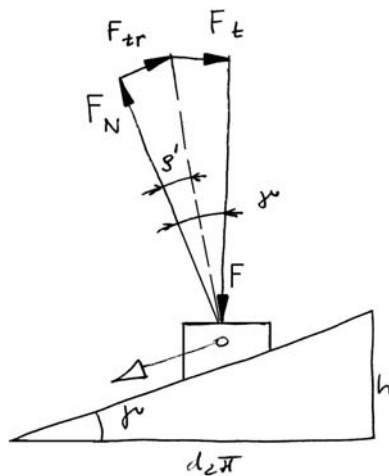
$$M_G = F_t \cdot \frac{d_2}{2} = F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \rho')$$

Kad se vijčani spoj otpušta, matica se "spušta" po navoju i tu se razlikuju dva slučaja:

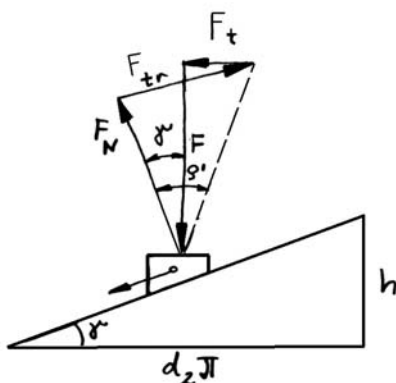
- Ako je kut trenja manji od kuta uspona, tj. $\rho' < \gamma$, element matice pri spuštanju treba pridržavati silom F_t da bi bio u ravnoteži:

$$F_t = F \cdot \tan(\gamma - \rho')$$

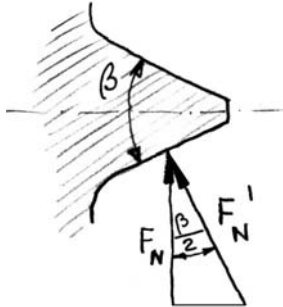
Kad sila F_t ne bi djelovala, matica bi se sama "spustila" (otpustila) i u tom slučaju vijčani spoj ne bi bio samokočan. Ovakvi vijci moraju imati veliki kut uspona γ , a to se može postići samo viševojnim navojima.



- Ako je kut trenja veći od kuta uspona, tj. $\rho' > \gamma$, onda $(\gamma - \rho')$ odnosno $\tan(\gamma - \rho')$ postaju negativni. Slijedi da je tangencijalna (obodna) sila F_t negativna, odnosno ona će imati suprotni smjer djelovanja. Dakle, da bi se matica spuštala, treba ju dodatno gurati silom F_t i u tom slučaju je vijčani spoj samokočan. Za metričke navoje s $\gamma \approx 2,5^\circ$ je samokočnost osigurana ako je $\mu' \geq 0,04$, a to je praktički uvijek.



Budući da se bokovi zuba navoja, osim kod pravokutnog profila, nalaze pod određenim kutem β , stvarna normalna sila F_N' bit će nešto veća, a time će veća biti i sila trenja.



$$F_N' = \frac{F_N}{\cos \frac{\beta}{2}}$$

U praksi se računa tako da se normalna sila smatra istom, a u istom omjeru se povećava stvarni faktor trenja μ_G , čime se množenjem sile i faktora trenja dobiva ista sila trenja. Korigirani računski faktor trenja je jednak

$$\mu_G' = \frac{\mu_G}{\cos \frac{\beta}{2}}$$

Za metrički navoj s $\beta = 60^\circ$ je $\mu_G' = 1,155 \cdot \mu_G = \tan \rho'$.

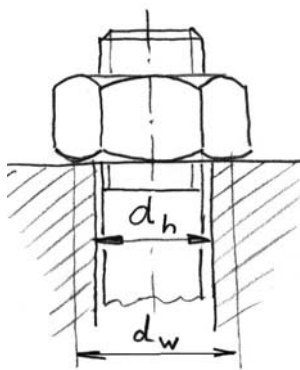
Za trapezni navoj s $\beta = 30^\circ$ je $\mu_G' = 1,035 \cdot \mu_G$, pa je trenje manje nego na metričkom navoju.

Prilikom pritezanja vijčanog spoja, matica treba svladati uspon navoja na vijku za što se troši oko 27 % momenta M_G , te trenje na navoju za što se troši oko 73 % momenta M_G .

Prilikom pritezanja, matica klizi po podlozi gdje se također javlja trenje. Dodir se ostvaruje po prstenastoj površini između promjera rupe za vijak d_h i vanjskog promjera oslonca glave vijka ili matice d_w .

$d_w \approx 0,9 \cdot s$ za šesterostrane vijke i matice (s = otvor ključa)

d_w = promjer glave inbus-vijka



Srednji polumjer na kojemu se ostvaruje trenje iznosi $(d_h + d_w)/4$.

Sila trenja na podlozi:

$$F_{\text{tr K}} = F \cdot \mu_K$$

μ_K = faktor trenja na podlozi. Raspon vrijednosti je sličan kao i na navoju.

Moment za svladavanje trenja na podlozi

$$M_K = F \cdot \mu_K \cdot \frac{d_h + d_w}{4}$$

Prilikom pritezanja vijčanog spoja treba svladati moment na navoju i moment na podlozi

$$M_A = M_G + M_K$$

Moment pritezanja vijčanog spoja kod koga će se u vijku javiti sila F je dakle

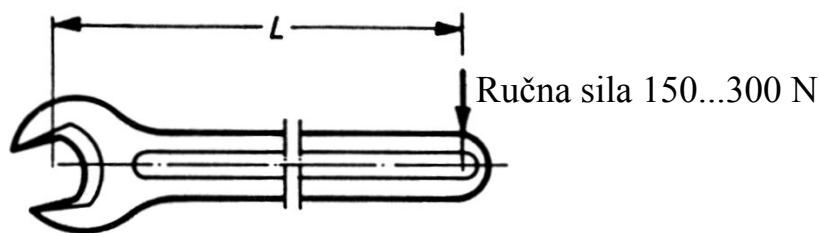
$$M_A = F \cdot \left[\frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \rho') + \mu_K \cdot \frac{d_h + d_w}{4} \right]$$

NAČINI PRITEZANJA VIJČANOG SPOJA

Sila u vijku mora prilikom pritezanja biti u dopuštenim granicama da ne bi došlo do plastičnih deformacija ili pucanja vijka.

a) Ručno pritezanje ključem

Dužina ključa L je prilagođena veličini vijka i prosječnoj ručnoj sili, kako moment pritezanja M_A ne bi bio prevelik i doveo do oštećenja vijka. Ova se metoda primjenjuje za vijke korištene za sporedne svrhe.



$$L \approx 21 \cdot d$$

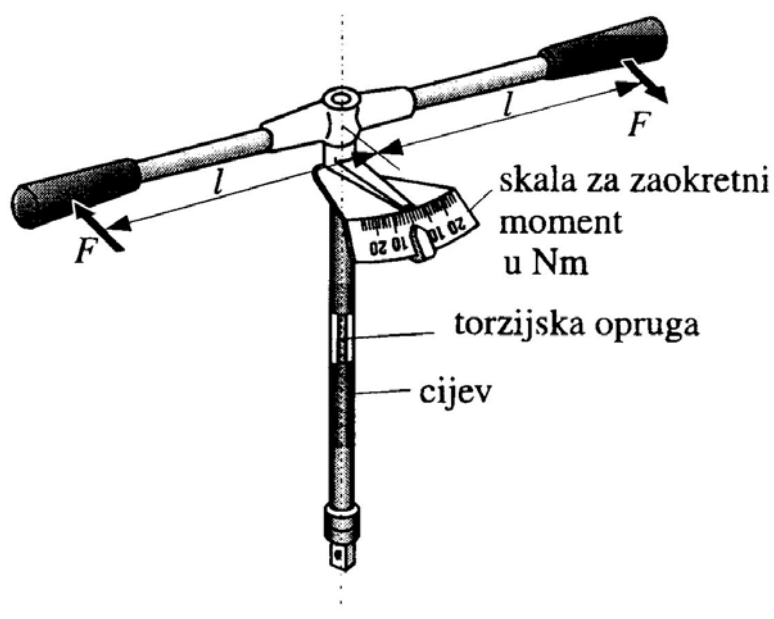
b) Pritezanje pneumatskim ili električnim alatom

Moment pritezanja se može grubo podesiti. Služi za serijsko pritezanje vijaka.

c) Pritezanje momentnim ključem

Preciznije od prethodnih načina je pritezanje momentnim ključem. Kod momentog ključa se jedan njegov dio deformira sukladno veličini momenta pritezanja M_A , dok na drugi neopterećeni dio moment ne djeluje i on se ne deformira.

Kod jedne vrste momentog ključa je deformabilni dio torzijska opruga u obliku šipke na kojoj je i kazaljka. Pri pritezanju se šipka uvija i kazaljka rotira. Kazaljka pokazuje moment pritezanja na skali koja je vezana za drugi neopterećeni dio u obliku cijevi.

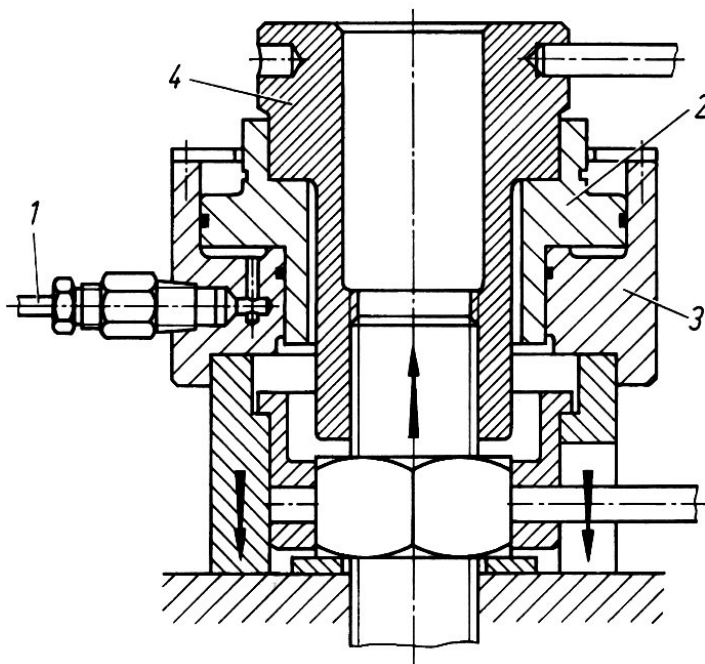


Kod jedne druge vrste momentnog ključa se prethodno na skali postavi željeni moment pritezanja. Kad se taj moment postigne, dolazi do međusobnog pomaka nekih dijelova momentnog ključa i čuje se zvučni signal.

d) Hidrauličko pritezanje

Kod veoma velikih vijaka je pritezanje ključem neprikladno ili nemoguće jer je moment pritezanja prevelik, a točnost postizanja aksijalne sile F u vijku bi bila mala. Takav je slučaj kod vijaka za pričvršćenje poklopaca cilindra velikih motora ili kod preša. Kako sili F u vijku odgovara određeno izduženje vijka f_s , hidrauličkim uređajem se vijak izduži za f_s , matica se rukom ili podesnim alatom malo pritegne i hidraulički uređaj ukloni. Vijak ostaje izdužen za iznos f_s i opterećen silom F .

Za razliku od prethodnih načina pritezanja, vijak nije opterećen torzijski.



1 - dovod ulja pod tlakom, 2 - klip, 3 - tlačni cilindar, 4 - natezna matica spojena s vijkom koju potiskuje klip

SLUČAJEVI OPTEREĆENJA VIJČANOG SPOJA

Definicije:

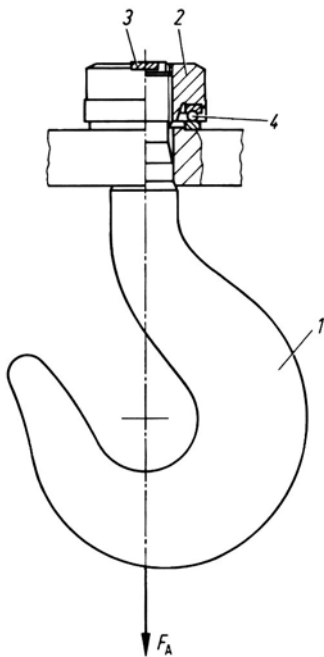
Sila prednapona F_V je statička vlačna sila koja se u vijku javlja nakon pritezanja vijčanog spoja. Nakon pritezanja je i podloga opterećena tlačnom silom iste veličine F_V .

Radna sila F_A je vlačna sila koja djeluje na vijak nakon pritezanja, a može biti statička ili dinamička.

1. Vijčani spoj bez prednapona

$$F_V = 0$$

Vijak, tj navoj na završetku kuke je spojen s maticom. Spoj nije pritegnut, a težina kuke se zanemaruje.



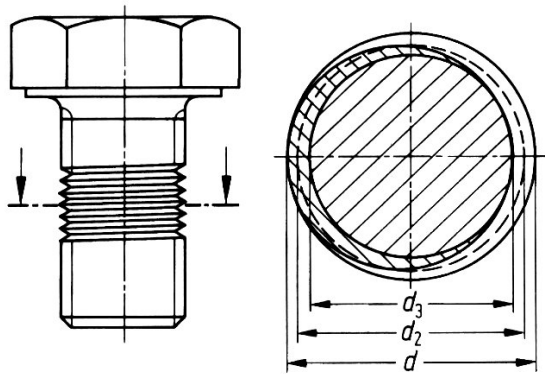
1 - teretna kuka s navojem, 2 - matica, 3 - osigurač protiv odvrtanja matice, 4 - aksijalni kuglični ležaj

Teret F_A (statička radna sila) izaziva u vijku vlačno naprezanje

$$\sigma_V = \frac{F_A}{A_S} \leq \sigma_{\text{dop}}$$

Površina presjeka preko koje se prenosi sila (površina naponskog presjeka) je

$$A_S = \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{d_S^2 \pi}{4}$$



$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{R_e}{\nu} \text{ odnosno } \sigma_{\text{dop}} = \frac{R_{p0,2}}{\nu}$$

Faktor sigurnosti $\nu = 1,25 \dots 1,5$, maksimalno do 6, npr. kod dizala.

2. Vijčani spoj s prednaponom (prednapregnuti vijčani spoj)

Prilikom pritezanja vijčanog spoja u vijku se javlja aksijalna sila prednapona F_V koja direktno zavisi od momenta pritezanja $M_A = M_G + M_K$:

$$F_V = \frac{M_A}{\frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \rho') + \mu_K \cdot \frac{d_h + d_w}{4}}$$

a) $F_V > 0$; $F_A = 0$

Ako dodatne aksijalne radne sile F_A nema ili je zanemariva, vijčani spoj će biti statički opterećen:

- vlačno naprezanje $\sigma_v = \frac{F_V}{A_S}$

- fiktivni promjer površine naponskog presjeka $d_S = \frac{d_2 + d_3}{2}$

- torzijsko naprezanje $\tau_t = \frac{M_G}{W_p} = \frac{F_V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \rho')}{\frac{d_S^3 \cdot \pi}{16}}$

Ekvivalentno naprezanje

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_v^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \leq \sigma_{dop}$$

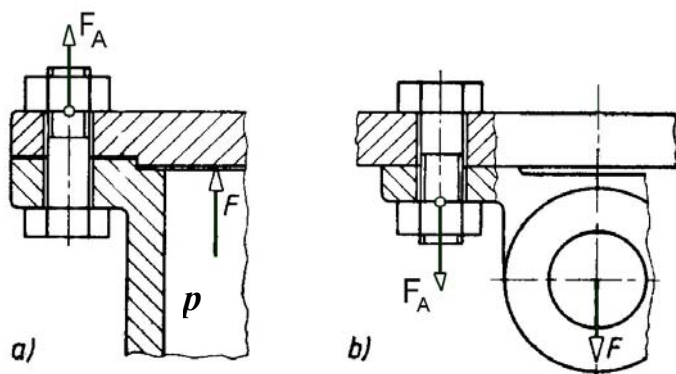
$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{\nu} \text{ odnosno } \sigma_{dop} = \frac{R_{p0,2}}{\nu}$$

Faktor sigurnosti $\nu = 1,25 \dots 1,5 \dots$, ovisno o primjeni, opasnosti i sl.

Za ovakve vijke se najčešće koristi ručno pritezanje ključem gdje sama duljina ključa onemogućava prevelika naprezanja. Na ključ se ne smiju stavljati nastavci, npr. cijevi, jer je onda moment pritezanja prevelik.

b) $F_V > 0$; $F_A > 0$

Dodatna radna sila F_A djeluje na vijak pritegnut silom prednapona F_V . Radna sila može biti statička ili dinamička.



a) Vijci poklopca posude pod tlakom; b) Vijci koji nose viseći ležaj

Ovako opterećeni vijci imaju statički dio naprezanja usljed sile prednapona te dodatni statički ili dinamički dio naprezanja usljed radne sile. Radna sila dodatno izdužuje već izduženi vijak i smanjuje silu u podlozi (spojenim dijelovima) pa se i podloga izdužuje.

Slučaj opterećenja prednapregnutog vijčanog spoja s dinamičkom radnom silom F_A je najznačajniji i najteži i bit će obrađen detaljno.

PODATLJIVOST I KRUTOST VIJKA I PODLOGE

Hookeov zakon

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

Za vlačno opterećenje $\sigma = \frac{F}{A}$ i $\varepsilon = \frac{\text{Produljenje}}{\text{Prvobitna...duljina}} = \frac{f}{L}$

pa slijedi

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{L} \cdot E$$

Koeficijent krutosti je omjer sile F i pripadajuće deformacije (produljenja) f :

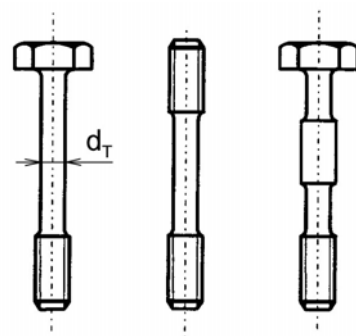
$$C = \frac{F}{f} \quad (\text{N/mm})$$

Koeficijent podatljivosti je omjer deformacije f i pripadajuće sile F , tj. recipročna vrijednost koeficijenta krutosti:

$$\delta = \frac{f}{F} = \frac{L}{AE} \quad (\text{mm/N})$$

Vijci se često prema zahtjevima konstrukcije sastoje od više duljina različitog poprečnog presjeka, a time i različite podatljivosti. Za vijke stanjenog struka koristi se naziv "elastični vijak" i oni imaju veću podatljivost.

Promjer struka je najčešće $d_T = (0,85...0,95) \cdot d_3$

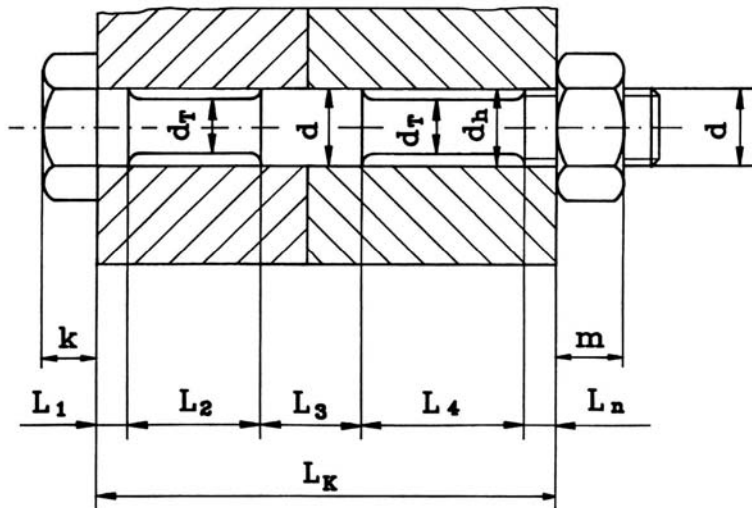


Vijci za visoka opterećenja su uvijek čelični, dok je podloga u strojarskim konstrukcijama najčešće od Č, ČL ili SL.

Primjer proračuna koeficijenta podatljivosti vijka:

L_K = debljina podloge

E_S = modul elastičnosti materijala vijka



U deformaciji sudjeluju:

- dio glave vijka s duljinom $0,4 \cdot d$ i s površinom poprečnog presjeka

$$A_N = d^2 \pi / 4;$$

$$\delta_K = \frac{0,4d}{A_N E_S}$$

- duljine L_1 i L_3 s površinom poprečnog presjeka $A_N = d^2 \pi / 4$;

$$\delta_1 = \frac{L_1}{A_N E_S}, \quad \delta_3 = \frac{L_3}{A_N E_S}$$

- duljine L_2 i L_4 s površinom poprečnog presjeka $A_T = d_T^2 \pi / 4$;

$$\delta_2 = \frac{L_2}{A_T E_S}, \quad \delta_4 = \frac{L_4}{A_T E_S}$$

- duljina L_n s površinom poprečnog presjeka $A_3 = d_3^2 \pi / 4$;

$$\delta_n = \frac{L_n}{A_3 E_S}$$

- dio navoja vijka koji se nalazi unutar matice (ili provrta s navojem) s duljinom $0,5 \cdot d$ i s površinom poprečnog presjeka $A_3 = d^2 \pi / 4$;

$$\delta_G = \frac{0,5d}{A_3 E_S}$$

- dio matice s duljinom $0,4 \cdot d$ i s površinom poprečnog presjeka $A_N = d^2 \pi / 4$;

$$\delta_M = \frac{0,4d}{A_N E_S}$$

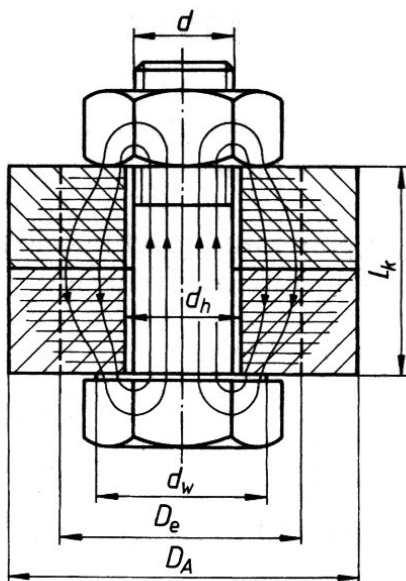
Koeficijent podatljivosti vijka jednak je zbroju pojedinih koeficijenata:

$$\delta_S = \delta_K + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_n + \delta_G + \delta_M$$

$$\delta_S = \frac{1}{E_S} \cdot \left(\frac{0,8d + L_1 + L_3}{A_N} + \frac{L_2 + L_4}{A_T} + \frac{L_n + 0,5d}{A_3} \right)$$

Duljine $0,4 \cdot d$ kod glave vijka i matice i duljina $0,5 \cdot d$ kod dijela vijka koji se nalazi unutar matice su vrijednosti koje u proračunu daju najrealnije rezultate.

Sile se kroz podlogu prenose kroz prostor u obliku bačve.



D_A = promjer područja utjecaja jednog vijčanog spoja u podlozi. D_A može biti ograničen oblikom podloge (udaljenost do ruba) ili udaljenošću do susjednog vijka.

Ispitivanjima se došlo do saznanja da se može računati kao da se sile prenose kroz ekvivalentni prostor u obliku cilindra vanjskog promjera D_e , koji ima istu podatljivost kao i stvarna podloga.

Površina poprečnog presjeka ovog zamišljenog šupljeg cilindra izračunava se po sljedećim formulama:

- ako je $d_w \leq D_A \leq d_w + L_K$,

$$A_P = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w \cdot (D_A - d_w) \cdot [(x+1)^2 - 1]$$

gdje je $x = \sqrt[3]{\frac{L_K d_w}{D_A^2}}$

Promjer provrta za vijak u podlozi je za prolazne rupe $d_h \approx 1,14 \cdot d$, a za kalibrirane (dosjedne) vijke je $d_h = d$.

- ako je $D_A > d_w + L_K$, usvaja se $D_A = d_w + L_K$ i računa po istoj formuli;

- ako je $D_A < d_w$, npr. kod vijaka klipnjače motora ili ako vijak prolazi kroz čahuru,

$$A_P = \frac{\pi}{4} \cdot (D_A^2 - d_h^2)$$

Kod čahure je D_A jednak vanjskom promjeru čahure.

Za matice je približno $d_w \approx 0,9 \cdot s$.

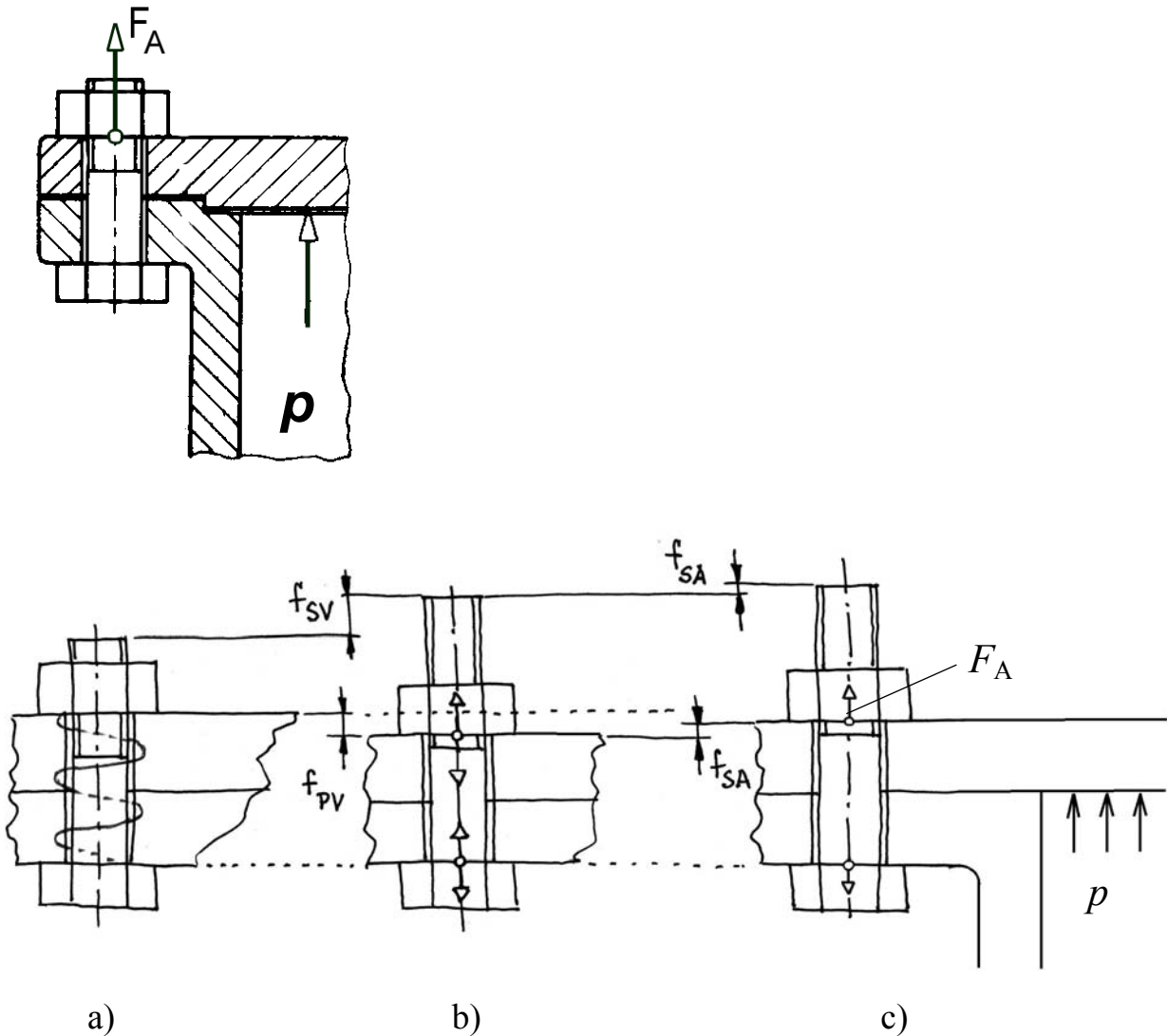
Koeficijent podatljivosti podloge je

$$\delta_P = \frac{L_K}{A_P E_P}$$

E_P = modul elastičnosti podloge.

DEFORMACIJSKI DIJAGRAM VIJČANOG SPOJA → Predavanja

Vijak i njime stegnuti dijelovi (podloga) mogu se zamisliti kao opružni elementi kod kojih je ovisnost deformacije o sili linearna. Na slici je prikazan vijak kojim su međusobno pričvršćene dvije ploče, tj. poklopac na blok cilindra.



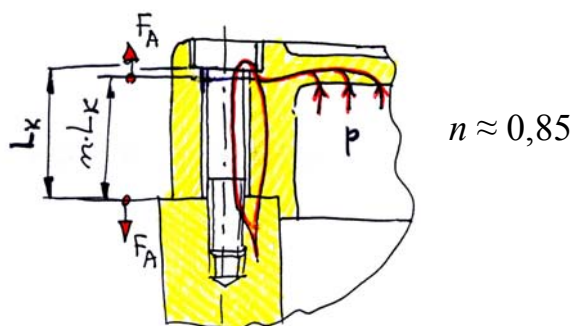
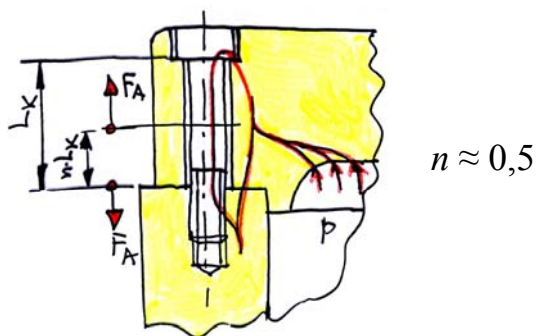
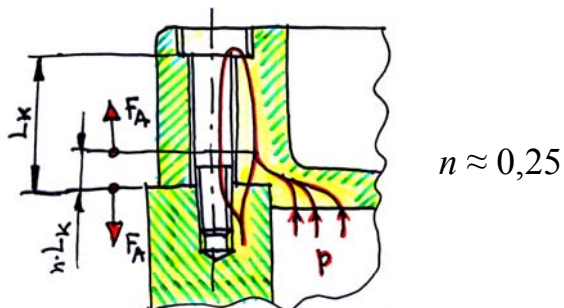
Slika a): u cilindru ne djeluje tlak p ; matica nije pritegnuta.

Slika b): u cilindru ne djeluje tlak p ; matica je pritegnuta.

Slika c): u cilindru djeluje tlak p ; matica je pritegnuta.

UTJECAJ HVATIŠTA RADNE SILE

U dosadašnjim razmatranjima se pretpostavljalo da radna sila djeluje na površinama nalijeganja glave vijka i matice na podlogu. U stvarnosti to nije tako i položaj hvatišta radne sile ovisi o obliku konstrukcije. Ova se činjenica u proračunu uzima u obzir faktorom rasterećenja podloge n .



Kad bi hvatište sile bilo na površinama nalijeganja glave vijka odnosno matice na podlogu, onda bi bilo $n = 1$.

Podloga neće po čitavoj svojoj duljini L_K biti rasterećena. Dio podloge duljine $n \cdot L_K$ bit će rasterećen za silu F_{PA} . Preostali dio podloge duljine $(L_K - n \cdot L_K)$ bit će dodatno tlačno opterećen silom F_{SA} .

Faktor rasterećenja podloge je manji od jedinice i ovisi o konstrukciji. Najčešće je $n = 0,5 \dots 0,75$.

Duljina podloge se fiktivno smanjila s duljine L_K na duljinu nL_K , pa podloga dok djeluje radna sila privremeno postaje kruća, tj. manje se deformira. Koeficijent podatljivosti podloge se smanjuje od δ_P na radni koeficijent podatljivosti δ_{Pr} :

$$\delta_{Pr} = n \cdot \delta_P$$

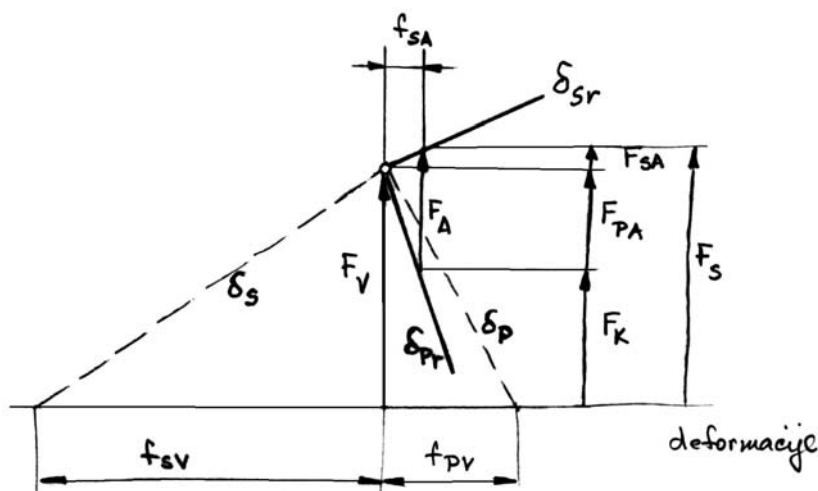
Linija u dijagramu će biti strmija.

Kako radna sila ne opterećuje dodatno samo vijak vlačno nego i dio podloge tlačno, učinak je isti kao da je fiktivno povećana duljina vijka. Rezultat je taj da vijak privremeno postaje podatljiviji. Koeficijent podatljivosti vijka se povećava od δ_S na radni koeficijent podatljivosti δ_{Sr} :

$$\delta_{Sr} = \delta_S + (1 - n) \cdot \delta_P$$

vijak \uparrow \uparrow dio podloge koji je stlačen

Linija u dijagramu će biti položenija.



Iz dijagrama je vidljivo da će sila u vijku F_S biti to manja što je linija za vijak položenija, tj. što je vijak podatljiviji. U vijčanim spojevima je stoga poželjno da se konstrukcijom postigne maleni faktor rasterećenja n što će dati veliki δ_{Sr} .

$$f_{SA} = F_{SA} \cdot \delta_{Sr} = F_{PA} \cdot \delta_{Pr}$$

Kao što je već rečeno, ako je hvatište radne sile na površinama nalijeganja glave vijka odnosno matice na podlogu, onda je

$$F_{SA} = F_A \cdot \frac{\delta_P}{\delta_S + \delta_P}$$

Ako je hvatište radne sile između površina nalijevanja, onda je $n < 1$ i mora se računati s radnim koeficijentima podatljivosti:

$$F_{SA} = F_A \frac{\delta_{Pr}}{\delta_{Sr} + \delta_{Pr}}$$

Sila u vijku

$$F_S = F_V + F_{SA}$$

Dio radne sile koja rasterećuje podlogu

$$F_{PA} = F_A - F_{SA}$$

Sila u podlozi

$$F_K = F_V - F_{PA}$$

Ukupno izduženje vijka kad djeluje radna sila F_A :

$$f_S = f_{SV} + f_{SA} = F_V \cdot \delta_S + F_{SA} \cdot \delta_{Sr}$$

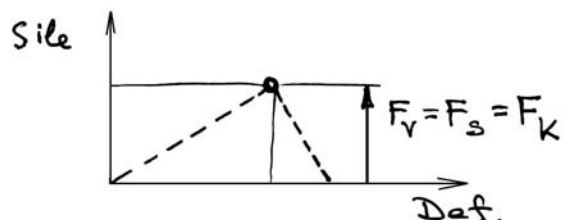
SLIJEGANJE POVRŠINA → Predavanja

STVARNI DEFORMACIJSKI DIJAGRAM → Predavanja

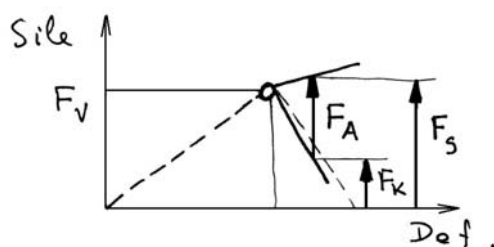
DEFORMACIJSKI DIJAGRAM ZA RAZNE SLUČAJEVE OPTEREĆENJA

Radi jednostavnosti, bit će prikazan samo donji dio dijagrama.

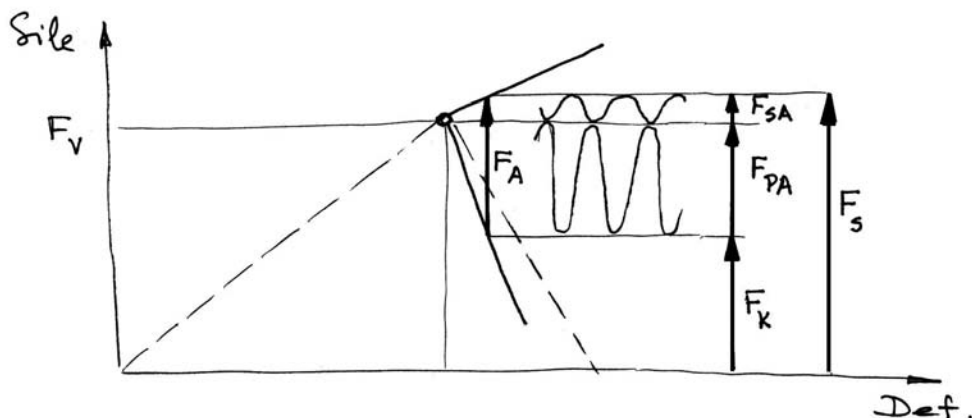
a) Statičko opterećenje silom prednapona F_V . Radna sila $F_A = 0$. Sile u vijku i podlozi su jednake.



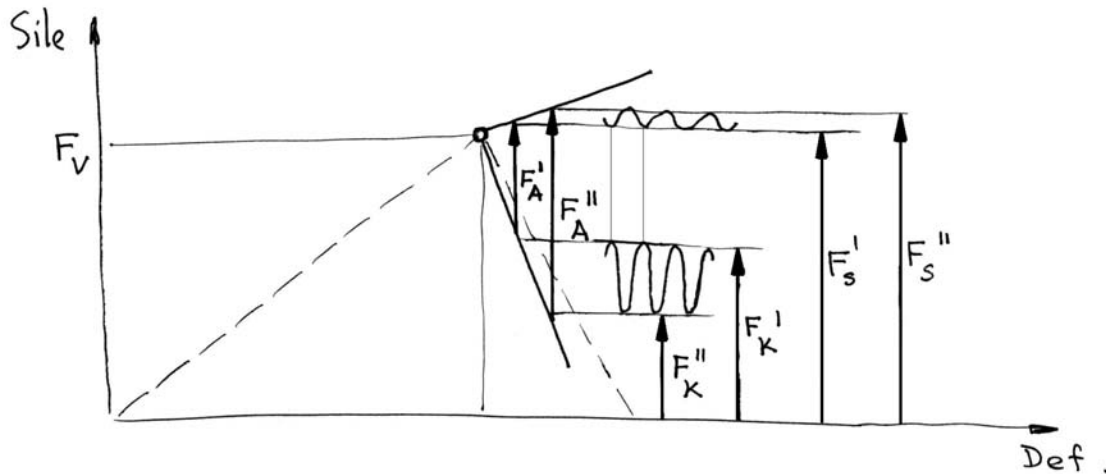
b) Statičko opterećenje silom prednapona F_V i statičkom radnom silom F_A . Sile u vijku i podlozi su različite i nepromjenljive. Primjer: vijčani spoj na prirubnici posude pod konstantnim tlakom.



c) Nakon pritezanja silom F_V , vijčani spoj je opterećen dinamički radnom silom koja varira između nule i vrijednosti F_A . Sila u vijku će varirati između F_V i F_S , a u podlozi između F_V i F_K . Dinamička sila u vijku iznosi $\pm F_{SA}/2$. Primjer: vijčani spoj na poklopcu cilindra klipnog kompresora.



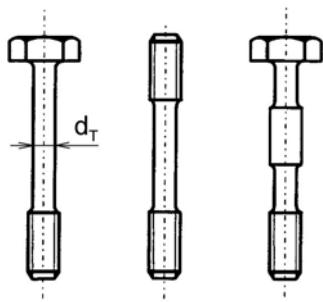
d) Nakon pritezanja silom F_V , vijčani spoj je opterećen dinamički radnom silom koja varira između F_A' i F_A'' . Sila u vijku će varirati između F_S' i F_S'' , a u podlozi između F_K' i F_K'' . Dinamička sila u vijku iznosi $\pm(F_S'' - F_S')/2$.



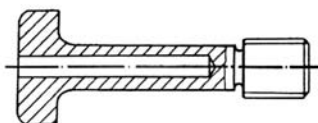
PREDNOST KORIŠTENJA ELASTIČNIH VIJAKA

U dinamički opterećenim konstrukcijama bezuvjetno treba težiti što nižoj vrijednosti dinamičke sile $\pm F_{SA}/2$ ili $\pm(F_S'' - F_S')/2$, kako bi što teže došlo do zamora materijala i zamornog loma. Dinamička će sila biti to manja što je veća podatljivost vijka. Podatljiviji se vijak može dobiti:

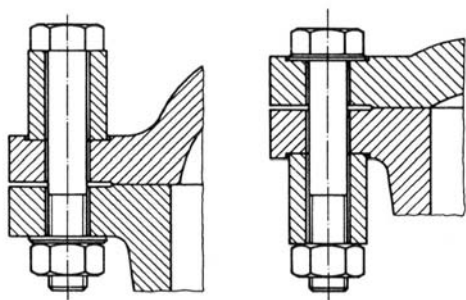
- stanjenjem struka na promjer $d_T = ((0,7...)\underline{0,85...0,95}) \cdot d_3$ ("elastični vijak"):



- bušenjem rupe uzduž vijka:



- povećanjem duljine vijka, što znači da se moraju koristiti dodatne čahure:

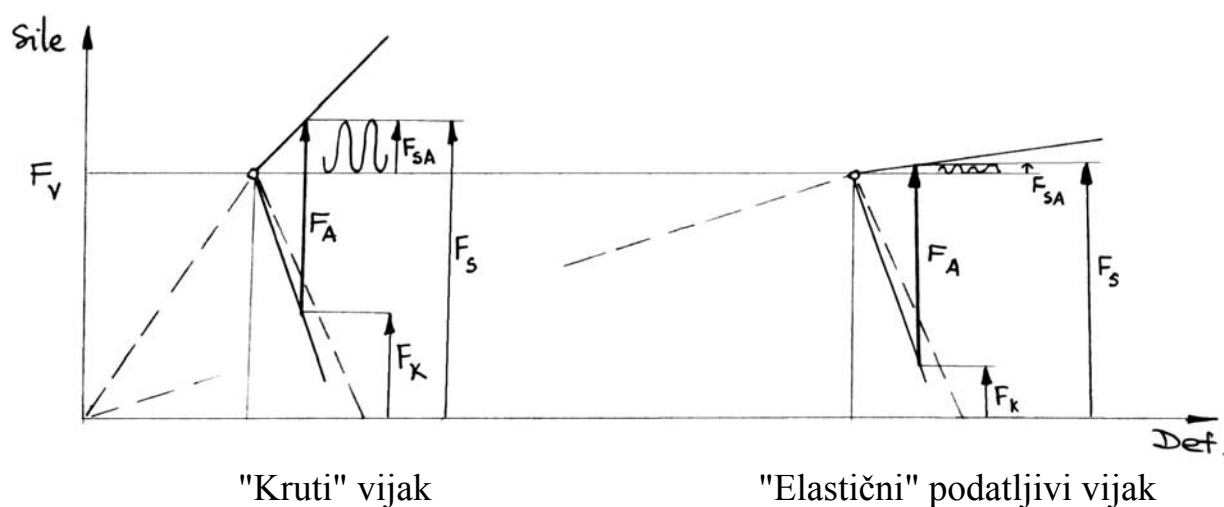


Na gornjim izvedbama je postignut i mali faktor rasterećenja podloge n što također rezultira podatljivijim vijkom.

Vijak sa stanjenim strukom može se opteretiti manjom silom prednapona, ali će se još znatnije smanjiti dinamička komponenta pa time i opasnost od zamornog loma.

Sila	Obični vijak	Podatljivi vijak	
		$d_T = 0,9 \cdot d_3$	$d_T = 0,7 \cdot d_3$
F_V	100 %	80 %	50 %
F_{SA}	100 %	60 %	38 %

Iz usporedbe deformacijskih dijagrama za "kruti" i "elastični" vijak za jednake sile F_V i F_A može se dobro uočiti smanjenje dinamičke sile F_{SA} .



NAPREZANJA U VIJKU

a) Statički dio naprezanja

Prilikom pritezanja vijčanog spoja, u vijku je moguće postići vlačnu silu $F_{M \max}$. Javlja se normalno naprezanje.

- Kod "elastičnih" vijaka sa stanjenim strukom je

$$\sigma_v = \frac{F_{M \max}}{A_T} \quad A_T = \frac{d_T^2 \pi}{4}$$

- Kod "krutih" vijaka bez stanjenog struka

$$\sigma_v = \frac{F_{M \max}}{A_S} \quad A_S = \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{d_S^2 \pi}{4}$$

Radi svladavanja trenja na navoju vijka i svladavanja uspona navoja, potreban je moment pritezanja na navoju M_G , kojim je vijak opterećen torzijski. Pri tome kut trenja može varirati između ρ'_{\min} i ρ'_{\max} , a sila u vijku između $F_{M \min}$ i $F_{M \max}$. U daljnji proračun se uzima veća od sljedeće dvije vrijednosti:

$$M_G = F_{M \min} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \rho'_{\max})$$

$$M_G = F_{M \max} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \rho'_{\min})$$

$$\gamma = \arctan \frac{h}{d_2 \pi}$$

$$\rho' = \arctan \mu'$$

Tangencijalno naprezanje uzrokovano torzijom

$$\tau_t = \frac{M_G}{W_p}$$

Polarni moment otpora poprečnog presjeka:

- Kod "elastičnih" vijaka sa stanjenim strukom je

$$W_p = \frac{d_T^3 \pi}{16}$$

- Kod "krutih" vijaka bez stanjenog struka

$$W_p = \frac{d_s^3 \pi}{16}$$

Kod hidrauličkog pritezanja nema torzije niti naprezanja τ_t .

Ekvivalentno naprezanje

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_v^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$$

Potrebna sigurnost

$$S_e = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_e}$$

treba biti u sljedećim granicama:

- Kod "elastičnih" vijaka sa stanjenim strukom: $S_e = 1,05 \dots 1,4$

- Kod "krutih" vijaka bez stanjenog struka: $S_e = 1,4 \dots 1,8$ (...3)

b) Dinamički dio naprezanja

Budući da je najveća koncentracija naprezanja na navojnom dijelu vijka, za dinamička naprezanja je mjerodavan promjer d_3 , tj. površina presjeka A_3 .

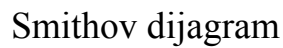
Za dinamičku silu $\pm F_{SA}/2$ će dinamičko naprezanje biti

$$\sigma_{SA} = \pm \frac{F_{SA}}{2A_3} \quad A_3 = d_3^2 \cdot \pi / 4$$

Amplituda dinamičke čvrstoće navoja vijka R_a (u skriptama piše "dinamička čvrstoća σ_A ") vezana je za postupak izrade navoja:

- Ako je toplinska obrada poboljšavanjem vršena nakon izrade navoja valjanjem ili narezivanjem

$$R_a = 0,75 \cdot \left(\frac{180}{d} + 52 \right) \quad R_a \text{ (N/mm}^2\text{)}, d \text{ (mm)}$$

$$R_a = 0,75 \cdot \left(\frac{180}{d} + 52 \right) \cdot \left(2 - \frac{F_{V \max}}{F_{0,2}} \right) \quad F_{V \max} = F_{M \max} - F_Z$$

$$S_D = \frac{R_a}{\sigma_{SA}} > 1,5$$
$$F_{SA} \leq 0,1 \cdot R_{p0,2} \cdot A_S$$

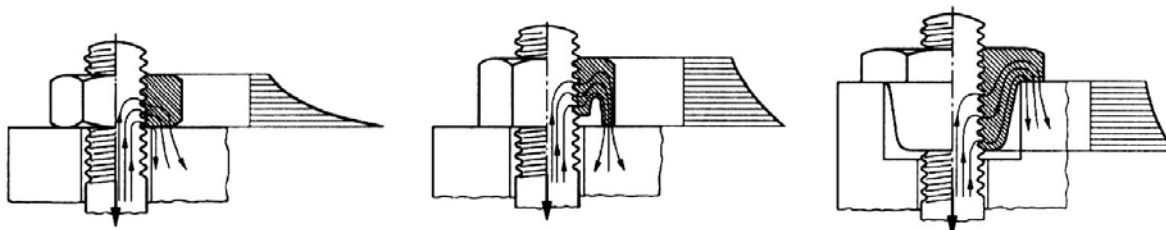
a) Korištenjem materijala višeg razreda čvrstoće. Dinamička čvrstoća međutim neće rasti u jednakoj mjeri kao i statička, jer su čvršći materijali osjetljiviji na koncentraciju naprezanja pa imaju veći faktor osjetljivosti materijala na koncentraciju naprezanja η_k .

b) Stvaranjem vlastitih tlačnih napreznja u površinskom sloju. Najbolja se dinamička čvrstoća postiže hladnim valjanjem navoja.

c) Kod krutih vijaka se dubina navoja na nekoliko zadnjih navoja treba postupno smanjivati da se dobije pravilniji tok silnica. R_a se može tako povećati do 30 %. Kod elastičnih vijaka prijelaz s navojnog dijela na struk treba izvesti s kosinom i velikim polumjerom.

d) Smanjenjem sila koje djeluju na vijčani spoj. To se postiže većom podatljivošću vijka, većom krutošću podloge i manjim faktorom rasterećenja podloge n .

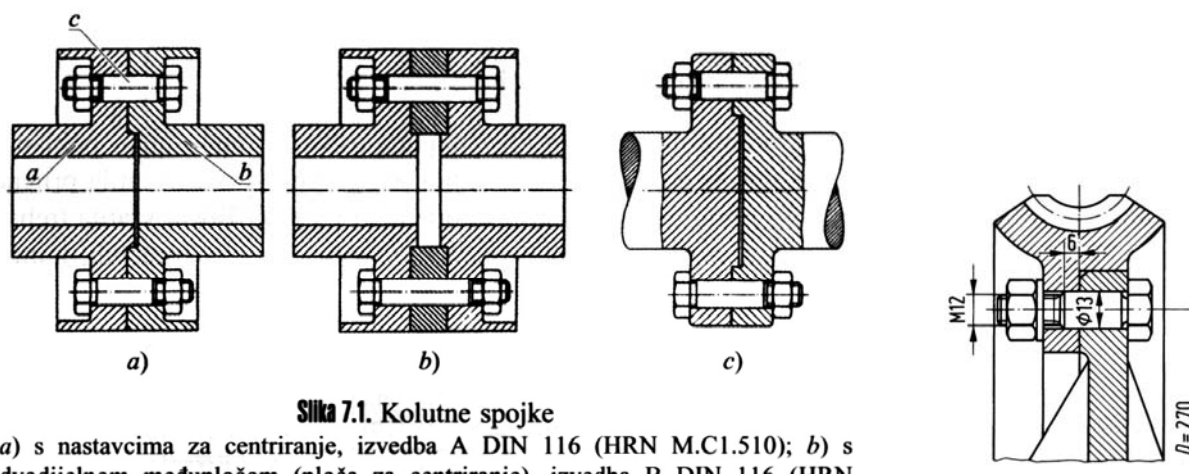
e) Pravilnijim rasporedom opterećenja po navojima. Kod običnih matica prva dva navoja nose 55 % ukupne sile. Vlačne matice se oblikuju tako da kod prvih navoja budu podatljivije. Koriste se kod vrlo visokih opterećenja, npr. glava motora.



Normalna tlačna matica Matica s rasteretnim utorom Vlačna matica

POPREČNO OPTEREĆENI VIJČANI SPOJEVI

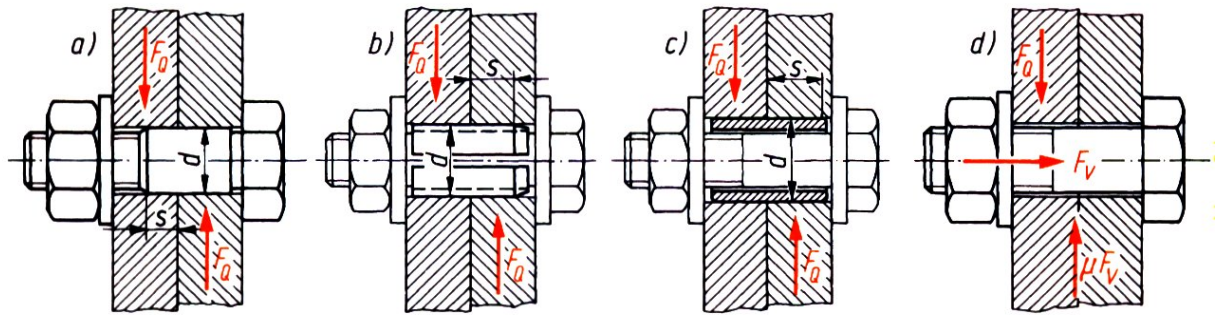
Ako sila djeluje okomito na os vijka, vijčani spoj je poprečno opterećen. Takvi su slučajevi kod sklopova gdje se prenosi okretni moment, npr. kod vijaka kojima se spajaju polovice krutih kolutnih spojki ili kod spojeva glavina s vijencem pužnog kola.



Slika 7.1. Kolutne spojke

a) s nastavcima za centriranje, izvedba A DIN 116 (HRN M.C1.510); b) s dvodijelnom međupločom (ploča za centriranje), izvedba B DIN 116 (HRN M.C1.510); c) s priрубnicama dobivenima raskivanjem krajeva vratila (priрубne spojke) DIN 760(HRN M.C1.510)

Načini prenošenja poprečne sile F_Q su sljedeći:



- Izvedba pomoću dosjednog (kalibriranog) vijka je dobra za promjenjive sile. Dosjed je H7/k6, izrada je skupa. Vijak je u poprečnom presjeku opterećen posmično (tangencijalno) i kod preopterećenja je moguća njegova trajna deformacija.
- Običan vijak prolazi kroz uzdužno razrezanu elastičnu čahuru izrađenu od čelika za opruge. Provrt ne zahtijeva toleranciju (obično bušenje). Posmično je opterećena čahura koja zbog svoje elastičnosti može ublažiti udare.
- Poprečnu silu preuzima čahura s dosjedom u provrtu koja je posmično opterećena.

Posmično naprezanje za navedene slučajeve je

$$\tau_s = \frac{F_Q}{A} \leq \tau_{sdop}$$

A = površina poprečnog presjeka vijka ili čahure opterećena smicanjem

Dopušteno posmično naprezanje:

$$\tau_{s \text{ dop}} \approx 0,6 \cdot R_e \text{ za statičko opterećenje}$$

$$\tau_{s \text{ dop}} \approx 0,5 \cdot R_e \text{ za ishodišno dinamičko opterećenje}$$

$$\tau_{s \text{ dop}} \approx 0,4 \cdot R_e \text{ za izmjenično dinamičko opterećenje}$$

Površinski pritisak između vijka ili čahure i površine provrta je

$$p = \frac{F_Q}{d \cdot s} \leq p_{dop}$$

Dopušteni površinski pritisak:

$$p_{\text{dop}} \approx 1,2 \cdot R_e \text{ za statičko opterećenje i žilavi materijal}$$

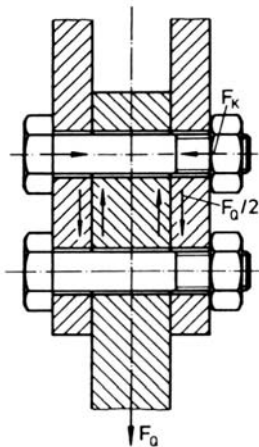
$$p_{\text{dop}} \approx 0,9 \cdot R_e \text{ za dinamičko opterećenje i žilavi materijal}$$

$$p_{\text{dop}} \approx 0,75 \cdot R_m \text{ za statičko opterećenje i krhki materijal}$$

$$p_{\text{dop}} \approx 0,6 \cdot R_m \text{ za dinamičko opterećenje i krhki materijal}$$

- d) Vijak je pritegnut takvom silom prednapona F_V koja na naliježnoj površini proizvodi silu trenja $F_T = F_V \cdot \mu_0$ koja je veća od poprečne sile F_Q .

Proračun će biti prikazan za slučaj da se sila trenja postiže pomoću dva vijka i da se trenje javlja na dvije površine:



Svaki vijčani spoj proizvodi silu na podlozi F_K . Ukupna sila trenja mora za faktor sigurnosti v biti veća od poprečne sile:

$$F_K \cdot \mu_0 \cdot i \cdot z = v \cdot F_Q$$

Materijal	Faktor trenja mirovanja μ_0
Glatke neodmašćene površine	0,1...0,15
Čelik/čelik, čelik/čelični lijev - suho	0,15...0,2
Čelik/sivi lijev, čelik/bronca - suho	0,18...0,25
Sivi lijev/ sivi lijev, sivi lijev/ bronca - suho	0,22...0,26
Konstrukcije od Č0361...Č0561 u visokogradnji i mostogradnji	$\approx 0,5$

i = broj površina na kojima se ostvaruje trenje (na slici $i=2$)

z = broj vijaka (na slici $z=2$)

$v = 1,2...1,3$ za opće strojarstvo i visokogradnju za statičko opterećenje, $v \approx 1,5$ za dinamičko opterećenje

$v = 1,6$ za mostogradnju i dizalice

Sila na podlozi

$$F_K = \frac{v \cdot F_Q}{\mu_0 \cdot i \cdot z}$$

Budući da nema radne sile, sila u podlozi je jednaka minimalnoj montažnoj sili prednapona $F_{V \min}$ pa će biti

$$F_{M \min} = F_K + F_Z$$

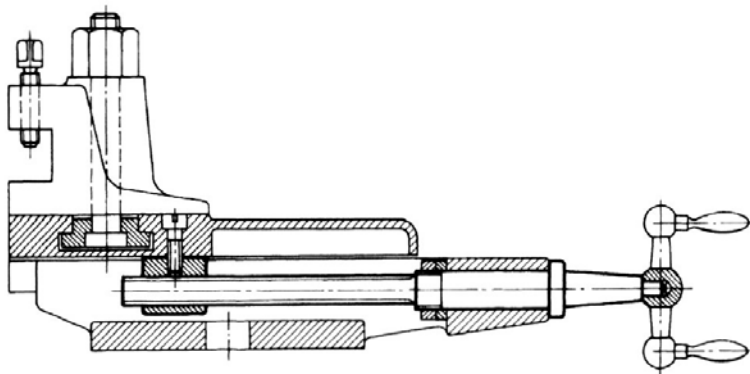
Naprezanje u vijku treba kontrolirati na najveću montažnu silu prednapona

$$F_{M \max} = \alpha_A \cdot F_{M \min}$$

POKRETNİ VIJČANI SPOJEVI (VIJČANI POGONI)

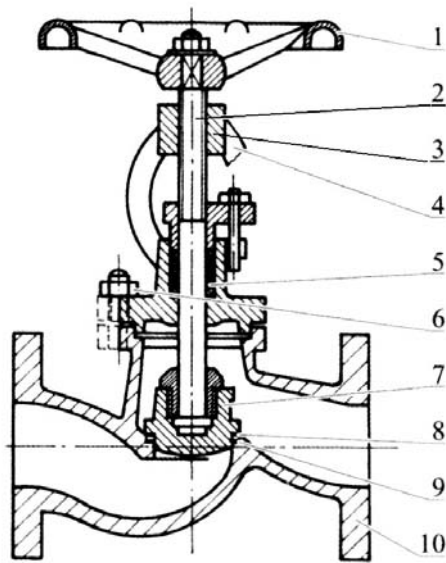
Služe za pretvorbu rotacijskog gibanja vijka u uzdužno gibanje matice ili vijka pa se nazivaju i vijčanim pogonima. Vijak se naziva vreteno i može biti velike duljine. Pokretni vijčani spojevi, tj. vretena, primjenjuju se kod obradnih strojeva, ventila, zasuna, klavirskih stolica itd.

Vretena na tokarskim i drugim obradnim strojevima



Slika 2.27. Vijak za pokretanje u suportu stroja

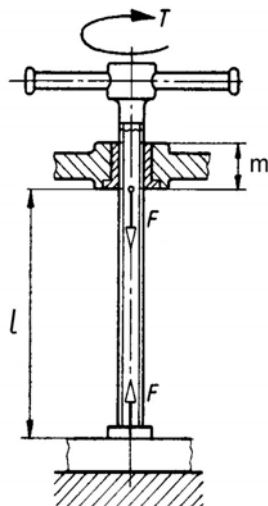
Vretena u ventilima



Slika 14.29. Prolazni ventil

1 ručno kolo; 2 vreteno; 3 matica; 4 kračun; 5 brtvilo brtvenice; 6 vijak poklopca; 7 tanjurasti zapornik; 8 prsten u zaporniku; 9 prsten u kućištu; 10 kućište

Kod preša se okretni moment pretvara u veliku aksijalnu silu.



Za brzo uzdužno gibanje se koriste višenavojna vretena.

Kao navoji se najčešće koriste trapezni jer imaju manje trenje od metričkih. Ako je opterećenje samo u jednom smjeru, mogu se koristiti i pilasti navoji gdje je nagib na opterećenoj strani navoja samo 3° pa je trenje još manje:

$$\mu'_G = \frac{\mu_G}{\cos 3^\circ} \approx \mu_G$$

Za torzijski moment na vretenu T će aksijalna sila biti

$$F = \frac{2 \cdot T}{d_2 \cdot \tan(\gamma + \rho')}$$

Ona će izazvati pritisak na navojima vretena i matice. Zbog stalnog klizanja navoja matice po navoju vretena, dodirni pritisak na navojima ne smije biti velik, kako ne bi došlo do habanja.

Srednji dodirni pritisak mora biti manji od dopuštenog:

$$p = \frac{F}{\frac{\pi}{4}(d^2 - D_1^2) \cdot z \cdot 0,75} \leq p_{\text{dop}}$$

$\downarrow \quad \downarrow$ Samo oko 75% navoja u matici nosi opterećenje
 $\downarrow \quad \downarrow$ Broj navoja u matici
 \downarrow Površina jednog navoja (na 360°); D_1 = unutarnji promjer matice

Materijal vretena/matice	p_{dop} (N/mm ²)		
	Trajni pogon	Povremeni (isprekidani) pogon	Rijetki pogon s malim brzinama i dobrim podmazivanjem
Čelik/čelik	8	+50%	+100%
Čelik/sivi lijev	5		
Čelik/bronca	10		
Kaljeni čelik/bronca	15		
Čelik/polimer	2...5		

Visina matice $m = z P$

Usvajanje dimenzija vretena:

a) Kod vlačno opterećenih vretena i kratkih tlačno opterećenih vretena kod kojih ne postoji opasnost od izvijanja potrebna se površina presjeka računa prema dopuštenom normalnom naprezanju.

$$A_3 = \frac{d_3^2 \pi}{4} \geq \frac{F}{\sigma_{\text{dop}}}$$

Za statička opterećenja $\sigma_{\text{dop}} = R_e/1,5$, za dinamička opterećenja $\sigma_{\text{dop}} = R_d/2$.

Treba obavezno kontrolirati i pritisak na navojima jer se po prethodnoj formuli mogu dobiti premaleni promjeri vretena!

b) Kod tlačno opterećenih dugačkih vretena (kao na primjeru vretena za prešu) postoji opasnost od izvijanja. Promjer vretena se mora kontrolirati po formuli

$$d_3 \geq 1,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{F \cdot \nu \cdot l_k^2}{E}} \quad d_3 \text{ (mm)}, F \text{ (N)}, l_k \text{ (mm)}, E \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Faktor sigurnosti $\nu \approx 8 \dots 10$

Računska duljina izvijanja $l_k \approx 0,7 \cdot l$

l = tlačno opterećena duljina vretena

U novije se vrijeme kod alatnih strojeva radi veće točnosti koriste kuglična navojna vretena i matice, gdje je trenje klizanja zamijenjeno manjim trenjem kotrljanja. Kuglice se kotrljaju unutar navoja koji je u obliku polukružnog utora. Kod pomicanja matice uzduž vretena, kuglice recirkuliraju unutar nje.

