

ISPITNA PITANJA IZ PREDMETA METALNE KONSTRUKCIJE

deo 1

Opšti deo i spojna sredstva

1. KARAKTERISTIKE METALNIH KONSTRUKCIJA (istorijat, prednosti i nedostaci, primena)

- Metalne konstrukcije u građevinarstvu se izrađuju prvenstveno od **čelika** (*legura gvožđa i ugljenika*) i, u znatno manjoj meri, od **legura aluminijuma**.
- Težište ovog kursa je na čeličnim konstrukcijama.
- Čelične konstrukcije se pored građevinarstva koriste i u drugim industrijskim granama (auto industrija, brodogradnja, avio industrija...).

Primena čeličnih konstrukcija u građevinarstvu:

Zgradarstvo-sportske dvorane ,izložbene hale, višespratne zgrade, industrijske hale, krvovi stadiona, hangari...

Mostogradnja-drumski mostovi, železnički mostovi, kombinovani mostovi, pešački mostovi...

Specijalne (inženjerske) konstrukcije

- Antenski stubovi,
- Stubovi dalekovoda,
- Industrijski dimnjaci,
- Silosi,
- Rezervoari,
- Cevovodi,
- Ofšor patforme,

Kratak istorijat metalnih konstrukcija

- 1735. g osvojen je postupak dobijanja sirovog gvožđa,
- 1777-79. izvedena je most preko reke Severn u Engleskoj kao prva građevinska konstrukcija od sirovog gvožđa. Most je lučni raspona 30,8 m, a i danas je u upotrebi kao pešački most.

Prve čelične konstrukcije

- 1855. god. Henri Besemer je pronašao postupak za dobijanje čelika u kruškastim pećima (konvertorima)
- 1874. god. završen je most Sent Luis preko reke Misisipi (SAD) kao prva značajna konstrukcija od čelika. Most je lučni sa rasponima preko 150 m.

Pozitivne osobine (prednosti) čeličnih konstrukcija:

- Visoke vrednosti mehaničkih karakteristika,
- Male dimenzije i težine elemenata,
- Industrijalizovana proizvodnja – visok kvalitet,
- Laka manipulacija, transport i montaža,
- Lakše i jeftinije fundiranje,
- Manja osetljivost na seizmičke uticaje,
- Fleksibilnost i adaptibilnost,
- Mogućnost demontaže i trajna vrednost,
- Laka i jednostana sanacija i rekonstrukcija.

Nedostaci čeličnih konstrukcija

Osetljivost na dejstvo **korozije**.

Osetljivost na dejstvo **požara**.

Potreba za kvalifikovanijom radnom snagom.

2. UGLJENIK U ČELIKU

- Čelik je legura gvožđa (Fe) i ugljenika (C).
- Sadržaj ugljenika se kreće od **0,05-1,7%**.
- Konstrukcioni čelici imaju manje od **0,25%** ugljenika.
- Sadržaj ugljenika bitno utiče na karakteristike čelika.
- Atomi C su znatno manji od atoma Fe i uglavljaju se u kristalnu rešetku (više kod γ -rešetke);
- U čeliku se C javlja i u vidu karbida gvožđa (Fe_3C) – **cementita** ili u vidu mešavine Fe i cementita koja se naziva **perlit**;

3. MEHANIČKE KARAKTERISTIKE ČELIKA

Najvažnije karakteristike za proračun konstrukcija;

- granica razvlačenja – f_y
- čvrstoća na zatezanje – f_u
- modul elastičnosti – E
- Puasonov koefcijent – ν
- izduženje pri lomu – δ
- kontrakcija (žilavost) – ϕ
- zapreminska masa – γ

Neke bitne konstante materijala

$$E = 210000 \text{ MPa (21000 kN/cm}^2\text{)}$$

$$\nu = 0,3$$

$$G = E/(2(1 + \nu)) = 81000 \text{ MPa (8100 kN/cm}^2\text{)}$$

$$\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$$

4. ISPITIVANJE METALA NA ZATEZANJE

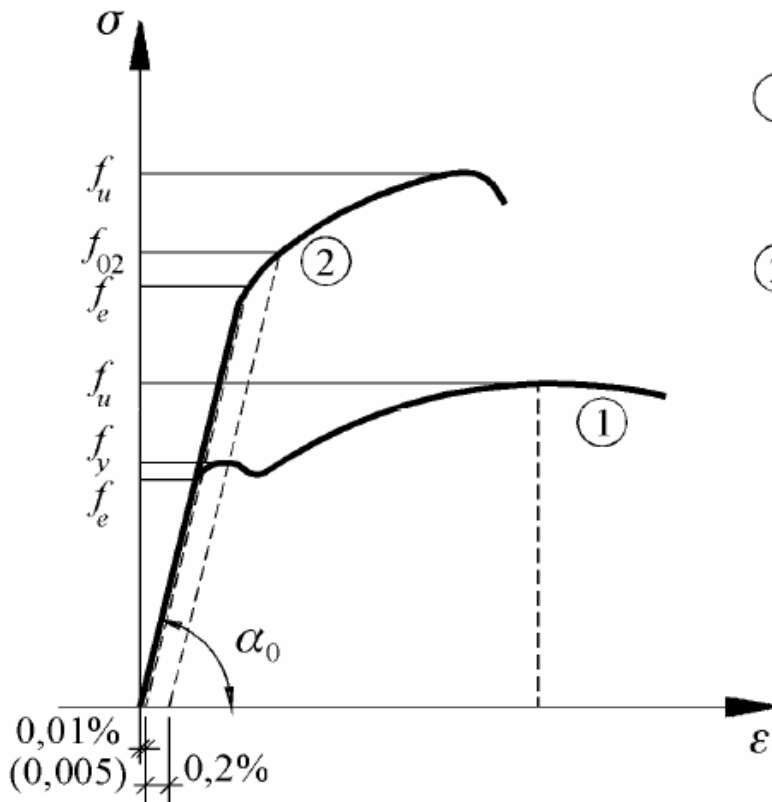
Određuju se najvažnije mehaničke karakteristike:

- granica elastičnosti - f_e
- granica razvlačenja - f_y
- čvrstoća na zatezanje - f_u
- modul elastičnosti - E
- izduženje pri lomu – δ
- kontrakcija poprečnog preska – ϕ

Uzorci (epruvete) za ispitivanje

$$\begin{aligned} l_0 &= 5,65 \cdot \sqrt{A_0} & \text{za } l_0 \geq 25\text{mm} \\ l_0 &= 11,3 \cdot \sqrt{A_0} & \text{za } l_0 < 25\text{mm} \end{aligned}$$

Dijagrami $\sigma - \varepsilon$ za različite čelike



- ① Čelik sa izraženim plastičnim osobinama (duktilan)
- ② Visokovredni čelik bez jasno izražene granice razvlačenja

Izduženje pri lomu

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100$$

Kontraktcija poprečnog preseka

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A} \cdot 100 \text{ [%]}$$

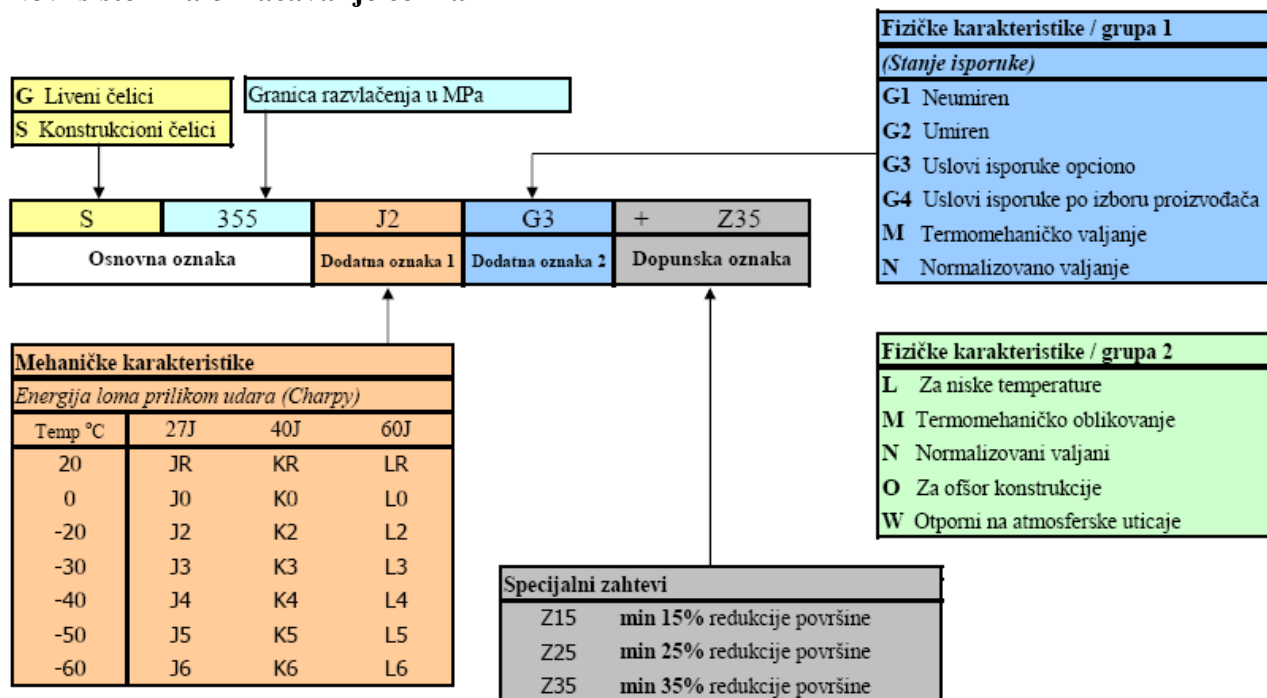
Izduženje pri lomu i kontraktcija poprečnog preseka su pokazatelji duktilosti i žilavosti materijala!

5. OZNAČAVANJE ČELIKA (opšte, čelici sa utvrđenim mehaničkim osobinama, čelici sa utvrđenim hemijskim sastavom i mehaničkim osobinama)

Označavanje čelika je visoko standardizovano.

Usvojen je Evropski sistem označavanja.

Novi sistem za označavanje čelika



Slovni simbol osnovne oznake kod specifičnih čelika

G za liveni čelik

S za konstrukcioni čelik (S235, S275, S355 ...)

B za betonske čelike (B500 ...)

P za čelik za opremu pod pritiskom (P265, P355 ...)

E za čelik za mehaničke konstrukcije (E295, ...)

Y za čelik za prednaprezanje betona (Y1770 ...)

Za čelične konstrukcije u građevinarstvu koriste se pretežno konstrukcioni čelici (nelegirani, niskougljenični čelici).

6. VRSTE ČELIČNIH PROIZVODA I NJIHOVA PRIMENA (vruće valjani proizvodi, limovi, hladno oblikovani proizvodi, materijal za spajanje)

Oblici osnovnih proizvoda čeličana

Proizvodi čeličana se ne koriste kao gotovi proizvodi za izradu čeličnih konstrukcija. Oni su u stvari poluproizvodi koji se dodato prerađuju (najčešće deformacijom).

Prerada čelika deformacijom

Postupci obrade su:

- valjanje,
- kovanje,
- presovanje i
- izvlačenje.

Najviše se primenjuje **valjanje** (90%).

Valjanje može biti u

- vrućem stanju (vruće valjani proizvodi),
- hladnom stanju (hladno oblikovani proizvodi).

Valjanje u vrućem stanju

- Valjanje u vrućem (toplom) stanju (vruće valjanje) se najčešće primenjuje.
- Poluproizvodi se zagrevaju na 1200-1300 oC – testasto stanje.
- Zagrejani element (polufabrikat) se propušta kroz seriju valjaka (i preko 70). Postepeno se smanjuje njegova debljina.
- Valjci mogu da budu ravni ili profilisani.
- Vrućim valjanjem se poboljšava kvalitet čelika (usitnjavaju se zrna njegove strukture).
- Prvom operacijom valjanja se ingoti prevode u osnovne oblike, a potom se dobijaju finalni proizvodi (limovi, profili,...).

Standardni vruće valjani proizvodi

Mogu da se podele na četiri grupe:

- Štapasti proizvodi,
- Limovi,
- Profilisani nosači,
- Šuplji profili.

Limovi

Prema debljini se dele na:

- fine limove $t < 3$ mm
- srednje limove $3 < t < 4,75$ mm
- grube limove $t > 4,75$ mm.

Prema obredi površine dele se na:

- glatke (ravne),
- rebraste,
- bradavičaste i
- perforirane.

Profilisani nosači

1. U profili
2. I profili sa uskim nožicama:
 - I (IPN) i
 - IPE profili.
3. I profili sa širokim nožicama: HEA, HEB, HEM, HD

Hladno oblikovani proizvodi

Dobijaju se:

- hladnim valjanjem ravne trake
- previjanjem ravne trake pritiskom (u posebnim alatima)

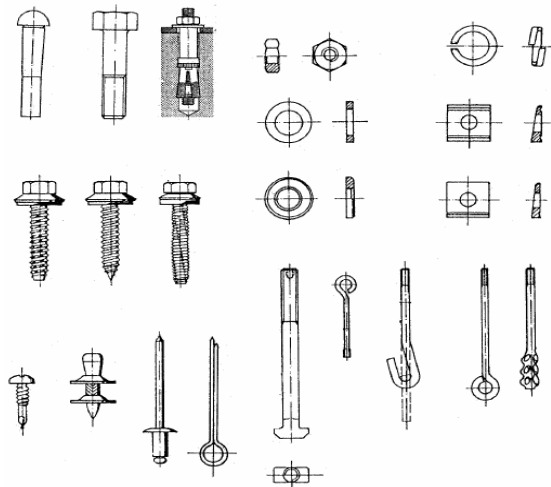
Dele se na:

- hladno oblikovane profile (otvorenog ili zatvorenog preseka)
- hladno oblikovane profilisane limove

Ostali proizvodi

- Automatski zavareni profili;
- Sačasti i olakšani nosači;
- Užad i kablovi
- Rešetkasta gazišta (rost)
- Istegnuti metal

Materijal za spajanje



7. OSNOVE I METODE PRORAČUNA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA (metoda dopuštenih napona i metoda graničnih stanja)

Osnove proračuna čeličnih konstrukcija

Osnovni kriterijum je **pouzdanost** koja se ogleda kroz:

- **sigurnost** – konstrukcija sa odgovarajućim stepenom sigurnosti mora da bude sposobna da prihvati sva opterećenja koja će se javiti tokom njenog veka (kontrola napona, stabilnosti,...);
- **funkcionalost** – konstrukcija mora da omogući normalno funkcionisanje objekta shodno njegovoj nameni (kontrola deformacija i vibracija);
- **trajnost** - faktori od uticaja su izbor i kvalitet materijala, kvalitet izvođačkih radova, konstrukcijsko oblikovanje, nivo održavanja objekta (korozija, zamor materijala,)

Metode proračuna

Prema teoriji dopuštenih napona

- deterministički pristup;
- zastupljen u domaćim propisima;

Prema teoriji graničnih stanja

- poluprobabilistički pristup;
- zastupljen u većini savremenih propisa (Evrokod);

8. PRORAČUN PREMA TEORIJI DOPUŠTENIH NAPONA

- Standardom se definišu (propisuju) određeni slučajevi (kombinacije) opterećenja i odgovarajući dopušteni naponi koji ne smeju biti prekoračeni!
- Kriterijum za iscrpljenje nosivosti je dostizanje granice razvlačenja (f_y).
- Dopušteni naponi se određuju (determinišu) na osnovu jedinstvenih koeficijenata sigurnosti (γ) kojim se deli napon na granici razvlačenja (f_y).
- Zasniva se na Teoriji elastičnosti i u pogledu proračuna uticaja u elementima konstrukcije (globalna analiza) i u pogledu dimenzionisanja preseka i elemenata (lokalna analiza).
- Pored kontrole napona obavezna je i kontrola deformacija.

9. SLUČAJEVI OPTEREĆENJA

- **I slučaj opterećenja – osnovno opterećenje** (sopstvena težina, stalno opterećenje, sneg, korisno opterećenje, saobraćajno opterećenje,...)
- **II slučaj opterećenja – osnovno + dopunsko opterećenje** (dopunska opterećenja su: vetar, temperatura, sile kočenja, bočni udari,...)
- **III slučaj opterećenja – osnovno + dopunsko + izuzetno opterećenje** (izuzetna opterećenja su: udar vozila, seizmički uticaju, požar...)

10. OBIČNI ZAVRTNJEVI (opšte, oblici i vrste zavrtnjeva)

Prednosti zavrtnjeva u odnosu na zakivke

- ujednačen kvalitet (industrijska proizvodnja),
- jednostavnija oprema i jeftinija radna snaga za ugradnju,
- nezavisnost u odnosu na vremenske uslove,
- brža ugradnja i
- manja cena.

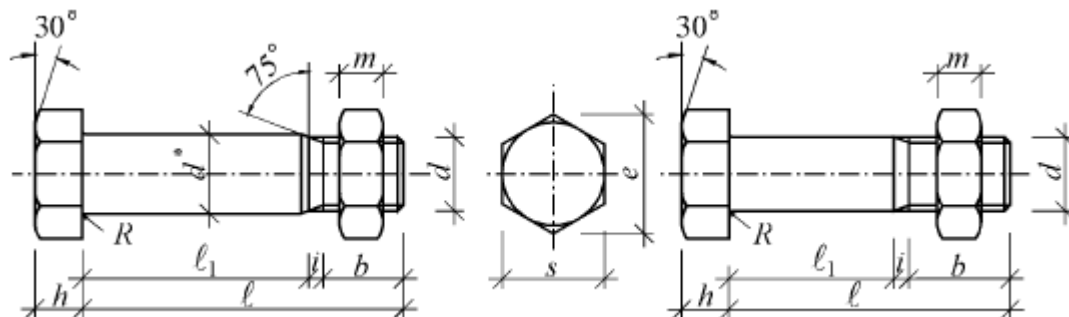
Oblik i dimenzije običnih zavrtnjeva:

M12,M16,M20,M22,M24,M27,M30

Podela prema tačnosti izrade:

a)Obradeni (upasovani) zavrtnjevi,

b) Neobrađeni (neupasovani) zavrtnjevi



Zavrtnanj M20

obrađen zavrtnanj

neobrađen zavrtnanj

nominalni prečnik
prečnik tela zavrtnja
prečnik rupe

$d = 20 \text{ mm}$
 $d = 21 \text{ mm}$ (za proračun)
 $d_0 = 21 \text{ mm}$

$d = 20 \text{ mm}$
 $d = 20 \text{ mm}$
 $d_0 = 21 \text{ mm}$

Specifični oblici zavrtnjeva

- a) zavrtnjevi sa unutrašnjom šestougaonom glavom;
- b) zavrtnjevi sa upuštenom glavom;
- c) zavrtnjevi bez navrtke;
- d) konusni zavrtnjevi.

11. OBIČNI ZAVRTNJEVI (klase čvrstoće i obeležavanje u tehničkoj dokumentaciji)

Označavanje zavrtnjeva

Oznaka treba da sadrži informacije o:

- vrsti navoja (M ili “),
- prečniku zavrtnja (d),
- dužini zavrtnja (l),
- kvalitetu materijala od koga je izrađen i
- standardu po kome je zavrtnanj izrađen.

Mdxl...k.č–(JUS M.B1.068)

Primer: M20x100...5.6

Prikazivanje zavrtnjeva na crtežima :

Nazivni prečnik	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Osnovne oznake za zavrtnjeve						²⁸	³¹
Obrađeni zavrtnjevi						²⁸	³¹
Montažni zavrtnjevi						²⁸	³¹
Montažne rupe i zavrtnjevi						²⁸	³¹

Klase čvrstoće zavrtnjeva:

Klasa čvrstoće definiše kvalitet čelika od kog su zavrtnjevi izrađeni, odnosno njegove mehaničke karakteristike:

- f_u čvrstoća na zatezanje i
- f_y granica razvlačenja.

Klasa čvrstoće se označava sa dva broja razdvojena tačkom!

Značenje oznake klase čvrstoće

Broj na prvom mestu predstavlja stoti deo čvrstoće na zatezanje u MPa:

$f_u / 100$.

Broj na drugom mestu predstavlja desetostruki odnos granice razvlačenja i čvrstoće na zatezanje:

10 (f_y / f_u).

Obični zavrtnjevi se izrađuju u sledećim klasama čvrstoće:

4.6, 4.8, 5.6, 5.8, i 6.8.

12. RAD VEZA SA OBIČNIM ZAVRTNJEVIMA

Vrste spojeva sa zavrtnjevima:

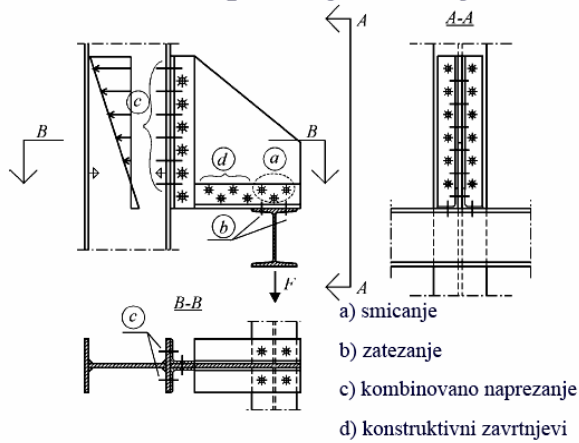
- Smičući spojevi (SS) i smičući spojevi sa tačnim naleganjem (SST) kod kojih se sila prenosi smicanjem tela zavrtnja;
- Zatežući spojevi(ZS) kod kojih se sila prenosi zatezanjem tela zavrtnja i
- Kombinovani spojevi(KS) istovremeno smicanje i zatezanje.

Podela zavrtnjeva prema funkciji

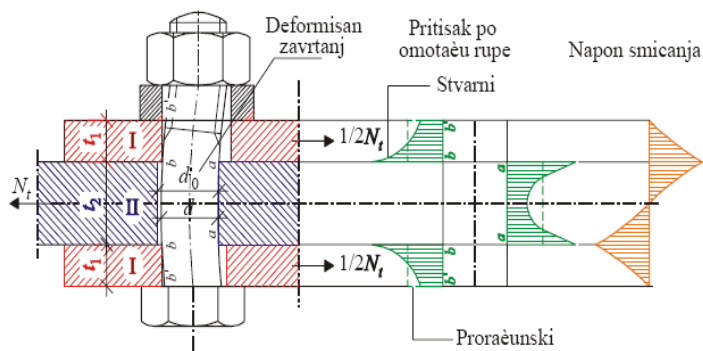
- Statički zavrtnjevi–učestvuju u prenošenju sila koje deluju na mestu veze ili nastavka;

•Konstruktivni zavrtnjevi–usvajaju se iz konstruktivnih razlga, kao što su ukрупnjavanje delova, obrazovanje poprečog preseka, prijanjanje različitih elemenata...

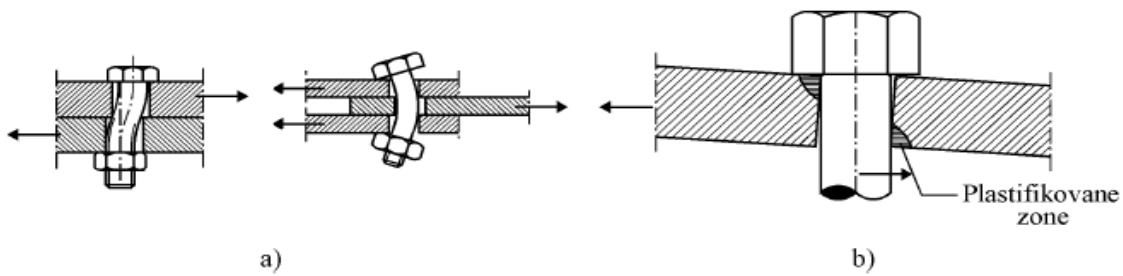
Različita napreznja zavrtnjeva



Napreznja zavrtnja u smičućem spoju



Deformacije kod smičućih spojeva



Savijanje zavrtnjeva

Gnječenje osnovnog materijala

Manji zazor ($\Delta d = d_0 - d$) \Rightarrow manje deformacije!

13. NOSIVOST ZAVRTNJEVA NA SMICANJE

Nosivost zavrtnjeva na smicanje:

$$F_v = m \cdot A_{v,1} \cdot \tau_{dop} = m \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \tau_{dop}$$

m- sečnost zavrtnja,

$A_{v,1}$ - površina poprečnog preseka tela zavrtnja,

τ_{dop} - dopušten napon smicanja i

d - prečnik zavrtnja.

Kod obrađenih zavrtnjeva umesto prečnika zavrtnja (d) treba uzeti prečnik rupe (d0)!

14. NOSIVOST ZAVRTNJEVA NA PRITISAK PO OMOTAČU RUPE

Nosivost zavrtnjeva na pritisak po omotaču rupe:

$$F_b = \min A_b \cdot \sigma_{b,dop}$$

$$F_b = \min \sum t \cdot d \cdot \sigma_{b,dop}$$

$\min A_b$ - minimalna površina kontakta između tela zavrtnja i omotača rupe;

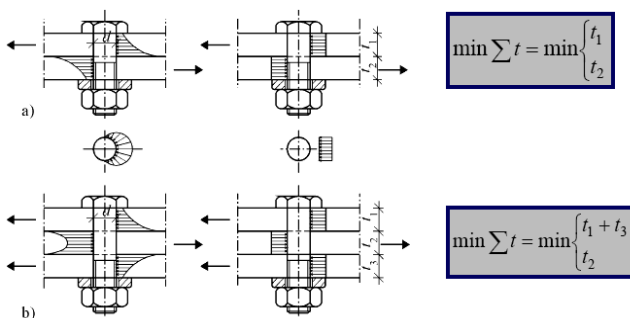
d - prečnik tela zavrtnja;

$\min \sum t$ - minimalna debljina limova koji su opterećeni u istom pravcu;

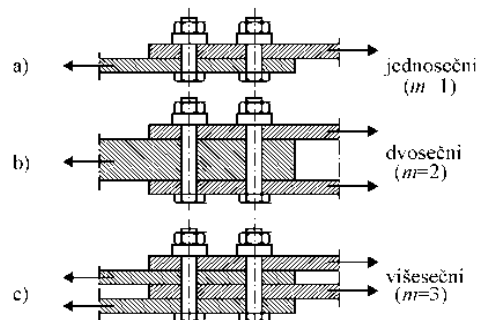
σ_b - dopdpušten napon pritiska po omotaču rupe.

Kod obrađenih zavrtnjeva umesto prečnika zavrtnja (d) treba uzeti prečnik rupe (d0)!

Određivanje minimalne debljine



Sečnost zavrtnjeva



15. NOSIVOST ZAVRTNJEVA NA ZATEZANJE

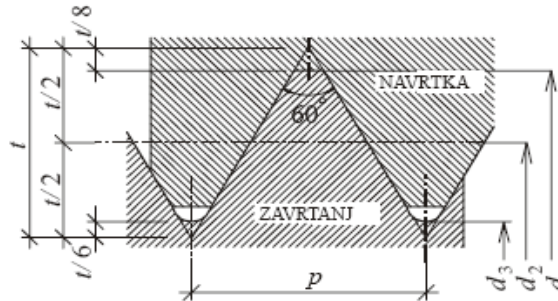
Nosivost zavrtnjeva na zatezanje

Zavisi od:

- kvaliteta materijala i
- površine ispitnog preseka (A_s)

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

d_2 srednji prečnik navoja,
 d_3 prečnik jezgra zavrtnja.



Dopuštena sila zatezanja:

$$F_{t,dop} = A_s \cdot \sigma_{t,dop}$$

A_s - površina ispitnog preseka zavrtnja,
 σ - dopodpušten napon zatezanja za zavrtnjeve.

Nosivost obrađenih i neobrađenih zavrtnjeva na zatezanje je ista!

16. KOMBINOVANO NAPREZANJE (ZATEZANJE I SMICANJE) OBIČNIH ZAVRTNJEVA

Zavrtnjevi koji su istovremeno opterećeni na smicanje i zatezanje. Pored pojedinačnih kontrola nosivosti na smicanje i zatezanje potrebno je proveriti i interaktivno dejstvo smicanja i zatezanja!

Kontrole naprezanja:

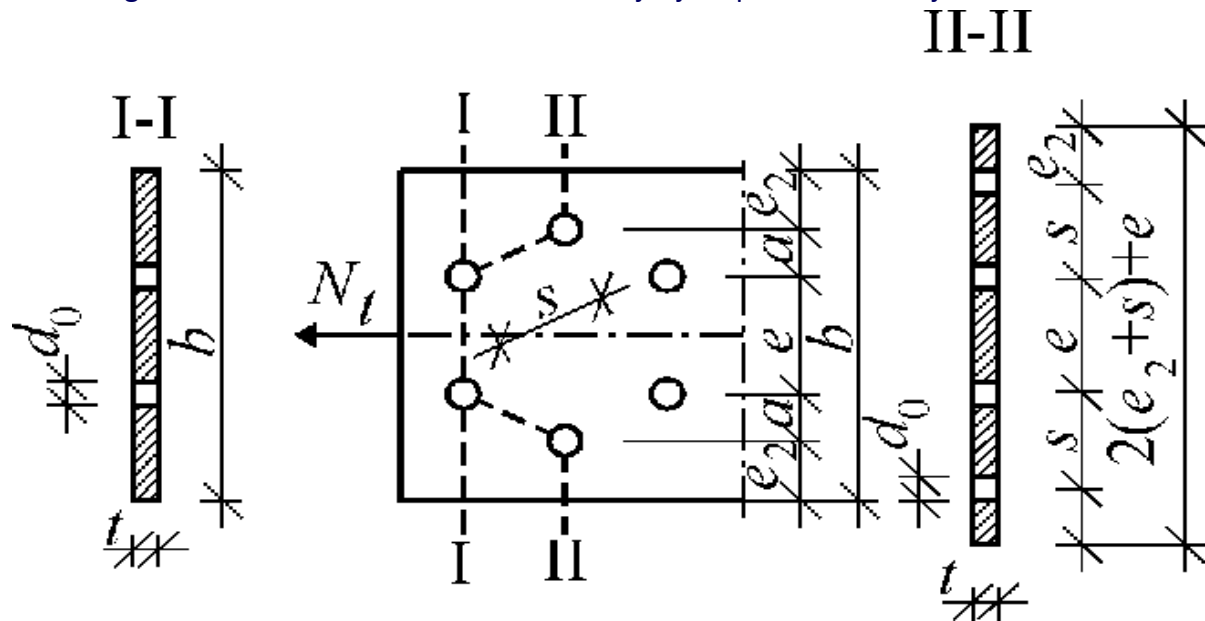
Smicanje :

Zatezanje :

Kombinovano
Naprezanje :

17. SLABLJENJE KONSTRUKCIONIH ELEMENATA RUPAMA ZA SPOJNA SREDSTVA

Kod zategnutih elemenata uzima se u obzir slabljenje rupama za zavrtnjeve



$$A_{\text{net}}^I = (b - 2d_0) \cdot t \quad A_{\text{net}}^{II} = (e + 2e_2 + 2s - 4d_0) \cdot t$$

Merodavan presek je presek sa manjom neto površinom!

18. VISOKOVREDNI ZAVRTNJEVI (opšte, oblik i dimenzije)

Visokovredni zavrtnjevi

- *Osnovni problem kod veza sa običnim zavrtnjevima je zazor između tela zavrtnja i rupe.*
- *Obični zavrtnjevi nisu pogodni za veze u dinamičkim konstrukcijama.*
- *Deformacije veza sa običnim zavrtnjevima su relativno velike zbog poništenja zazora i izduženja tela zavrtnja.*

Karakteristike visokovrednih zavrtnjeva

- *Visok kvalitet osnovnog materijala (granica razvlačenja od 640 do 1080 MPa);*
- *Mogućnost prednaprezanja;*
- *Drugačije ponašanje veza sa prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima;*
- *Mogućnost primene kod dinamički opterećenih konstrukcija.*
- *Nešto sporija ugradnja.*

Prednosti visokovrednih u odnosu na obične zavrtnjeve

- *Veća nosivost,*
- *Manja deformabilnost veze,*
- *Manja naprezanja u osnovnom materijalu na mestu neto preseka (prenošenje sile putem trenja),*
- *Sprečeno je nekontrolisano odvrtnanje navrtke.*

Nedostatci

- *nešto veća cena,*
- *posebna obrada tarnih površina,*
- *kontrola kvaliteta na gradilštu,*

Kratak istorijat

- *Početak primene u SAD-u 1948 (zamena dotrajalih zakivaka na mostovima),*
- *Prvi propisi iz ove oblasti 1951.*
- *U Evropi prva primena 1952.*
- *Kod nas 1964 na HE Đerdap.*
- *Proklizavanje!*

Oblik i dimenzije visokovrednih zavrtnjeva

Osnovne dimenzije standardnih visokovrednih zavrtnjeva :

Oznaka dimenzije

M12,M16,M20,M22,M24
M27,M30.

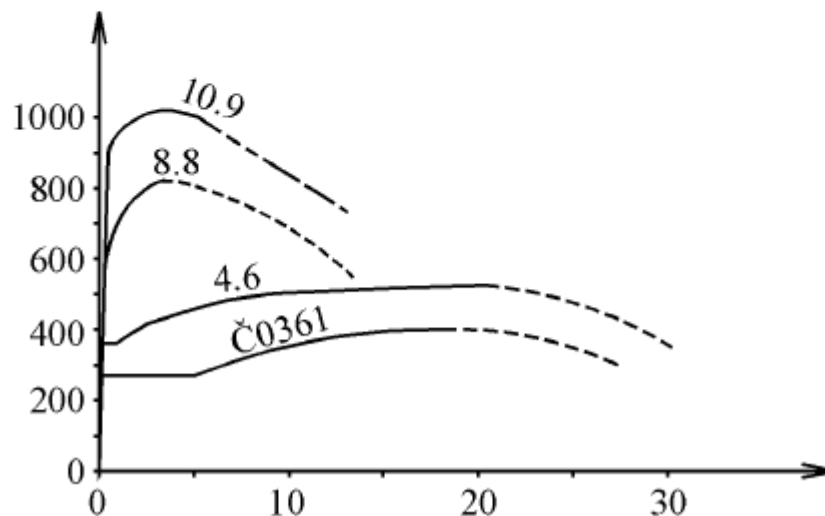
19. VISOKOVREDNI ZAVRTNJEVI (klase čvrstoće i obeležavanje u tehničkoj dokumentaciji)

Obeležavanje visokovrednih zavrtnjeva:

Vrsta zavrtnja	Zazor	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Zavrtnjevi bez tačnog naleganja	$\Delta d \leq 1,0 \text{ mm}$							
Zavrtnjevi sa tačnim naleganjem	$\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$							
Dodatne oznake								
Montažni zavrtnjevi								
Montažne i rupe i zavrtnjevi								

Klase čvrstoće:

Klasa čvrstoće	Tehnička (konvencijalna) granica razvlačenja $f_{0,2}$	Zatezna čvrstoća f_u	Izduženje δ_5	Udarna žilavost na 0°C
	[MPa]	[MPa]	(%)	[J]
8.8	640	800	12	30
10.9	900	1000	9	20
12.9	1080	1200	8	15

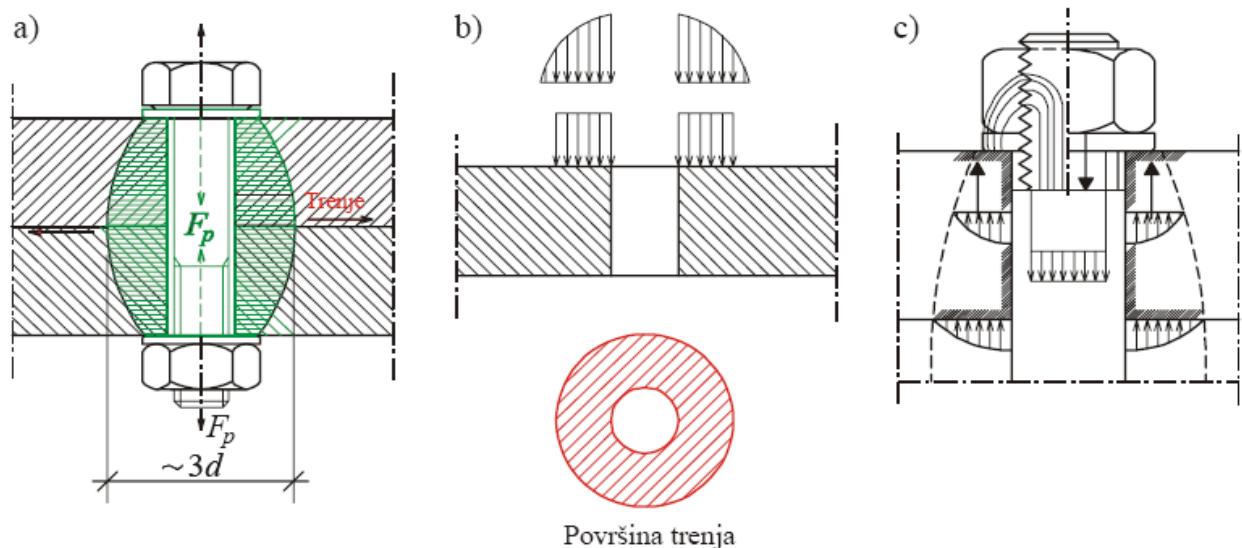


20. PONAŠANJE VEZA SA PREDNAPREGNUTIM VISOKOVREDNIM ZAVRTNJEVIMA (smičući spojevi)

Ponašanje prednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva u smičućim spojevima

- Prednaprežanjem se u zavrtnjevima javlja sila zatezanja, a u kontaktnom spoju napon pritiska;
- Sila trenja između limova zavisi od napona pritiska i hrapavosti (trenja) kontaktnih površi;
- Prenošenje sila se ostvaruje trenjem;
- Koncentracija napona u neto preseku je manja nego kod veza sa neprednapregnutim zavrtnjevima;

Tok sila kod prednapregnutih zavrtnjeva:



Proklizavanje:

- Kada je sila u zavrtnju manja od sile trenja koja se angažuje u spoju, nema relativnih pomeranja između limova, a sile se prenose trenjem;
- Nakon dostizanja sile trenja dolazi do naglog pomeranja (proklizavanje) između elemenata (poništava se zazor);
- Proklizavanjem ne dolazi do iscrpljenja nosivosti zavrtnja, već on počinje da “radi” kao običan zavrtnj na smicanje i pritisak omotača rupe.
- Granično stanje nosivosti prednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva se dostiže smicanjem tela zavrtnja ili gnječenjem omotača rupe
- Proklizavanjem dolazi do značajnih deformacija koje je poželjno izbeći (koncentracije napona, zamor materijala);
- Proklizavanje se može tretirati kao granično stanje upotrebljivosti;

- Evrokod 3 razlikuje dve kategorije spojeva (veza):
 - B –otporne na proklizavanje pri GSU (SLS)
 - C –otporne na proklizavanje pri GSN (ULS)

21. PRORAČUN NOSIVOSTI VISOKOVREDNIH ZAVRTNJEVA U SMIČUĆIM SPOJEVIMA

Potrebno je proveriti:

- nosivost na proklizavanje, pri graničnom stanju upotrebljivosti;
 - nosivost na smicanje i pritisak po omotaču rupe, pri graničnom stanju nosivosti;
- Prema našim propisima ne dozvoljava se proklizavanje pri eksploatacionom opterećenju (koncept dopuštenih napona)!

Nosivost prednapregnutih zavrtnjeva na proklizavanje $F_{s,dop}$:

m - broj tarnih ravni (kao sečnost kod običnih zavrtnjeva),
 F_p - sila prednaprezanja,
 μ - koeficijent trenja,
 v_2 - koeficijent sigurnosti.

Neophodne kontrole nosivosti kod prednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva u tarnim spojevima::

$$V_1 \leq F_{s,dop} = m \cdot \mu \cdot F_p / v_2$$

$$V_1 \leq F_{b,dop} = \min \sum t \cdot d \cdot \sigma_{b,dop}$$

V_1 - maksimalna sila u jednom zavrtnju,
 $F_{s,dop}$ - nosivost na proklizavanje,
 $F_{b,dop}$ - nosivost na pritisak po omotaču rupe.

Neophodne kontrole nosivosti kod neprednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva u smičućim spojevima::

$$V_1 \leq F_{v,dop} = m \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \tau_{dop}$$

$$V_1 \leq F_{b,dop} = \min \sum t \cdot d \cdot \sigma_{b,dop}$$

V1 - maksimalna sila u jednom zavrtnju,
Fv,dop - nosivost zavrtnja na smicanje,
Fb,dop - nosivost na pritisak po omotaču rupe.

Nosivost obrađenih prednapregnutih zavrtnjeva u tarnom spoju **Fvs,dop**::

$$F_{vs,dop} = F_{v,dop} + 0,25 \cdot F_{s,dop}$$

Fv,dop - nosivost obrađenog zavrtnja na smicanje i pritisak po omotaču rupe;
Fs,dop - nosivost zavrtnja na proklizavanje;

22. PRORAČUN NOSIVOSTI VISOKOVREDNIH ZAVRTNJEVA NA ZATEZANJE

$$F_{t,dop} = v_3 \cdot F_p$$

Kontrola nosivosti: $N_{t,1} < F_{t,dop}$
Nt,1 - sila zatezanja u posmatranom zavrtnju.

Proračun nosivosti neprednapregnutih VVZ na zatezanje:

$$F_{t,dop} = \sigma_{t,dop} \cdot A_s$$

23. PRORAČUN NOSIVOSTI PREDNAPREGNUTIH VISOKOVREDNIH ZAVRTNJEVA U KOMBINOVANIM SPOJEVIMA

Proračun nosivosti prednapregnutih visokovrednih zavrtnjevima u kombinovanim spojevima

Neobrađeni VVZ:

$$F_{s,dop} = m \cdot \mu \cdot \frac{(F_p - N_{t,1})}{v_2}$$

Obrađeni VVZ:

$$F_{s,dop} = F_{v,dop} + 0,25 \cdot m \cdot \frac{\mu \cdot (F_p - N_{t,1})}{v_2}$$

24. KONSTRUISANJE VEZA SA ZAVRTNJEVIMA I ZAKIVCIMA (opšta pravila, određivanje prečnika spojnog sredstva, raspored zakivaka i zavrtnjeva u vezi)

Pravila za konstruisanje veza sa zavrtnjevima i zakivcima:

- Veze i nastavci treba da budu simetrični!
- Minimalan broj zavrtnjeva (zakivaka) sa jedne strane spoja je 2 u zgradarstvu, a 3 u mostogradnji.
- Veze na preklop sa 1 zakivkom nisu dozvoljene, a veze sa 1 zavrtnjom se koriste samo u izuzetnim slučajevima;

Veze na preklop sa jednim zavrtnjem

Savijanje spojnog sredstva (zavrtnja)!

Pored smicanja i savijanja u zavrtnju se javlja i zatezanje!

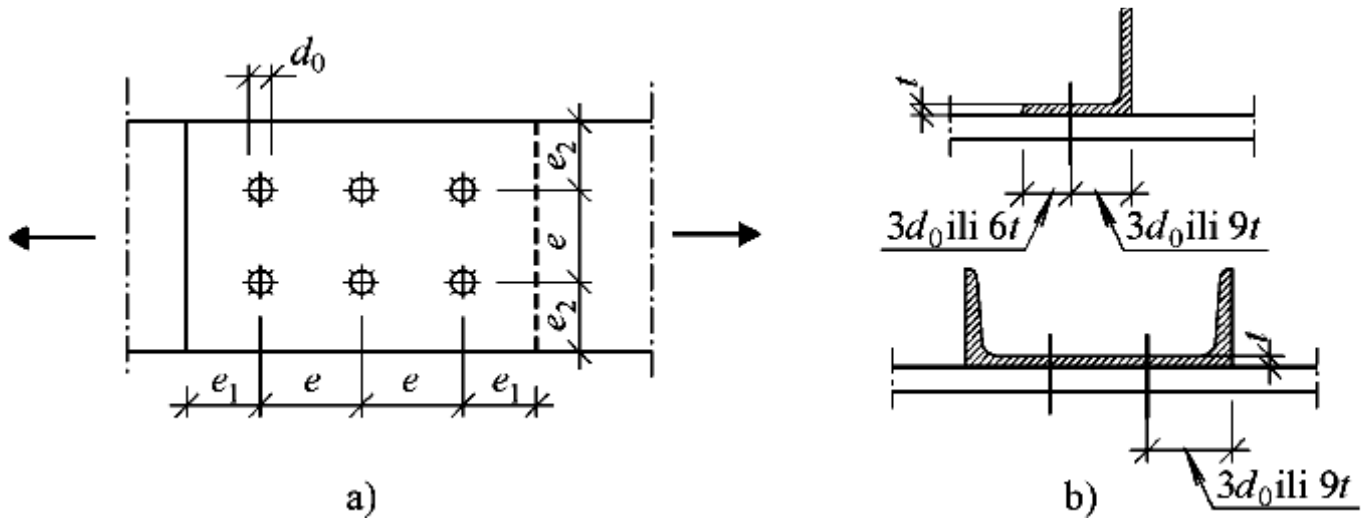
Optimalan prečnik zavrtnja:

•Pravilnim izborom prečnika zavrtnja dobija se uravnotežen odnos nosivosti na smicanje i pritisak po omotaču rupe!

$$\boxed{opt d_0 = \sqrt{5 \cdot t_{s,min}} - 0,2 \quad [cm]}$$

$t_{s,min}$ – minimalna debljina jednog od elemenata koji se spajaju

Raspored zavrtnjeva u vezi – oznake:



- e - rastojenje između susednih zavrtnjeva;
- e1 - rastojanje između zavrtnja i ivice lima u pravcu delovanja sile;
- e2 - rastojanje između zavrtnja i ivice lima upravno na pravac delovanja sile

Opis rastojanja	Min.	Maksimalno	
Rastojanje između susednih zavrtnjeva u pravcu i upravno na pravac delovanja sile e	$3d_0$	Za noseće zakivke i zavrtnjeve, konstruktivne zakivke i zavrtnjeve u pritisnutim štapovima i ukrućenjima rebara	$8d_0$ ili $15t$
		Za konstruktivne zakivke i zavrtnjeve u zategnutim štapovima i za vezu rebra i nožice izvan nastavka kod limenih nosača	$12d_0$ ili $25t$
Rastojanje između zavrtnjeva i ivice elementa u pravcu delovanja sile e_1	$2d_0$	Kada je ivica ukrućena, odnosno previjena (slika 2.56b)	$3d_0$ ili $9t$
		U ostalim slučajevima	$3d_0$ ili $6t$
Rastojanje između zavrtnjeva i ivice elementa upravno na pravac delovanja sile e_2	$1,5d_0$	Kada je ivica ukrućena, odnosno previjena (slika 2.56b)	$3d_0$ ili $9t$
		U ostalim slučajevima	$3d_0$ ili $6t$

25. ZAVARIVANJE (opšti pojmovi i definicije)

Šta je zavarivanje?

- Tehnološki postupak spajanja istih ili sličnih metala;
- Na visokim temperaturama tope se osnovni i dodatni materijal, dolazi do njihovog mešanja i sjedinjavanja (fizičkog i hemijskog);
- Hlađenjem ove mešavine dolazi do očvršćavanja i nastaje šav kao materijalni kontinuitet;
- Zavarivanjem nastaje kontinualan spoj;

Primena zavarivanja u građevinskim konstrukcijama

- Izrada osnovnih elemenata konstrukcije (I, U, Lprofili, sandučasti profili, kružni profili...);
- Izrada sklopova specifičnih konstrukcija (ortotropne ploče kod mostova,...);
- Izrada veza između elemenata konstrukcije; (samostalno ili u kombinaciji sa zavrtnjevima)
- Ojačanje elemenata konstrukcije (adaptacije i sanacije);

26. ZAVARIVANJE (prednosti i nedostatci)

Prednosti zavarivanja

1. Materijalan kontinuitet (pravilan tok sila);

2. Smanjenje ukupne težine konstrukcije (lakše veze, mogućnost variranja debljine elemenata);
3. Brža izrada u radionici (nema bušenja);
4. Nema slabljenja elemenata rupama za spojna sredstva;
5. Manja deformabilnost veza, a samim tim i konstrukcije;
6. Velike mogućnosti konstrukcijskog oblikovanja;
7. Vodonepropusnost spojeva
8. Estetski aspekt;

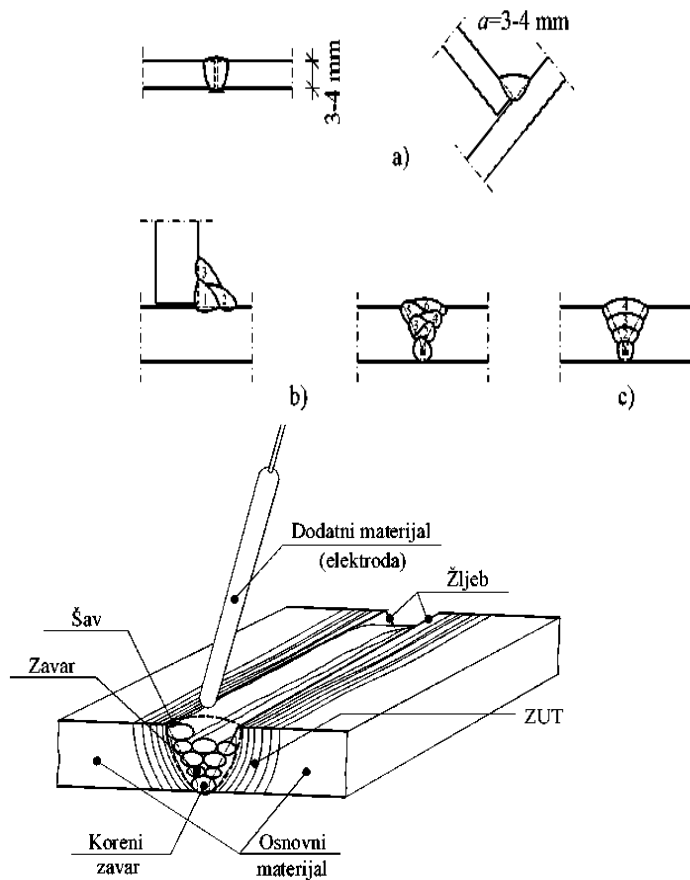
Nedostatci

- Kvalifikovana radna snaga;
- Kontrola kvaliteta spojeva u radionici i na gradilištu;
- Osetljivost na klimatske uslove na gradilištu (temperatura, vetar);
- Veća osetljivost na dejstvo požara;
- Zavarene veze nisu montažno-demontažne;

27. ZAVARIVANJE (osnovni pojmovi u zavarivanju)

Osnovni pojmovi

- Osnovni materijal;
- Dodatni materijal (elektroda ili žica);
- Spoj – međusobni položaj delova koji se spajaju;
- Šav – materijalizovano mesto spajanja;
- ZUT – Zona Uticaja Toplote;
- Žljeb – prostor u koji se deponuje dodatni materijal;
- Zavar



- a) šavovi iz jednog zavara
- b) šavovi iz više podužnih zavara
- c) šavovi izviše poprečnih zavara

Zavarljivost

Zavarljivost je sposobnost metala da se može spajati zavarivanjem;

- Operativna zavarljivost – mogućnost ostvarenja materijalnog kontinuiteta;
- Metalurška zavarljivost – dobijanje šava zahtevanog kvaliteta
- Konstruktivna zavarljivost – sposobnost šava da se pod opterećenjem ponaša kao osnovni materijal;

Osnovni principi pri projektovanju

- Veze i nastavci jednostavni za izvođenje (pre svega izvodljivi!);
- Izbegavati teške položaje zavarivanja (manja efikasnost, lošiji kvalitet);
- Racionalan izbor kontrole kvaliteta zavarenih spojeva;

28. ZAVARIVANJE (vrste spojeva i šavova)

Vrste spojeva:

- sučeoni spojevi;
- ugaoni ili T spojevi;

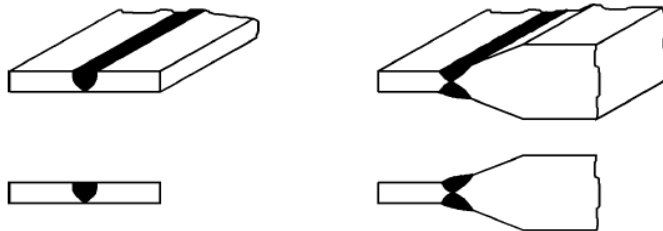
- preklopni spojevi

Vrste šavova

- Sučeoni šavovi sa punom penetracijom;
- Sučeoni šavovi sa delimičnom penetracijom;
- Ugaoni šavovi;
- Šavovi u rupama;
- Čep šavovi;
- Užljebljeni šavovi;

29. SUČEONI ŠAVOVI SA PUNOM PENETRACIJOM (opšte, osnovni elementi šava, vrste sučeonih šavova, oblici žljebova)

Elementi koji se spajaju leže u istoj ravni;

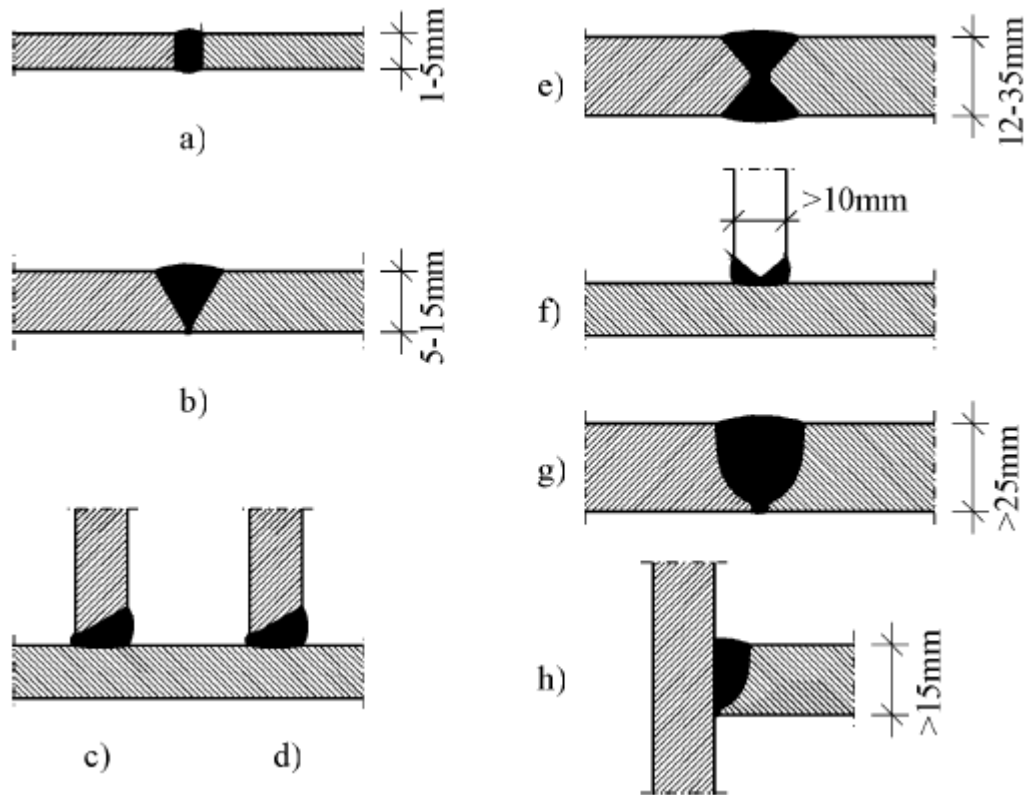


zavareni

~ovo su elementi sa istom i razlicitom debljinom

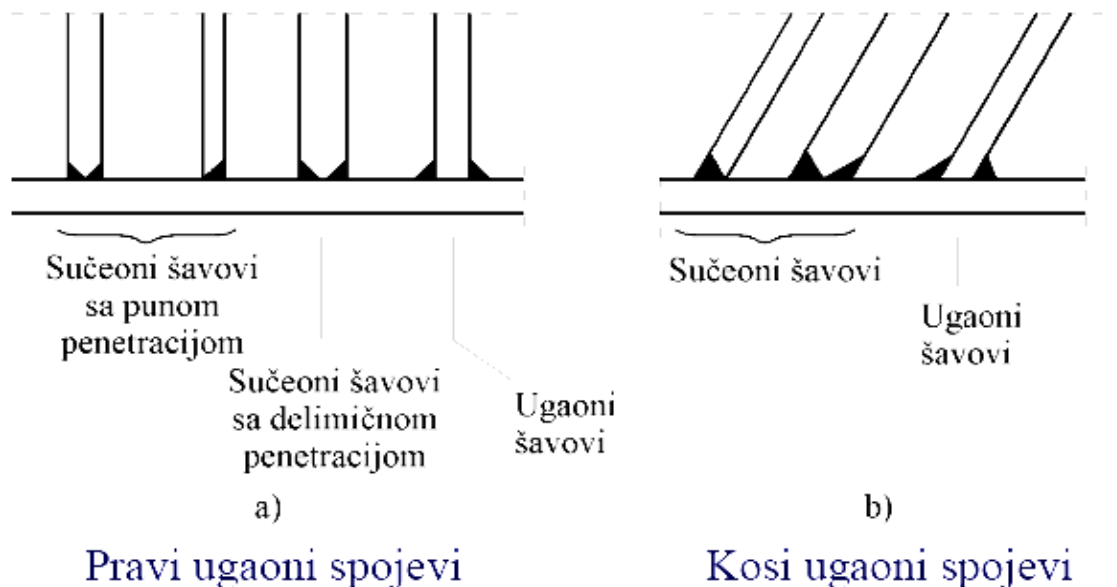
Vrste sučeonih šavova

- I šavovi – bez obrade ivica, $t = 1-5 \text{ mm}$,
- V i 1/2V šavovi – $t = 5-15 \text{ mm}$,
- X šavovi – dvostruki V šavovi, $t = 12-35 \text{ mm}$,
- K šavovi – ugaoni spojevi, $t > 10 \text{ mm}$,
- U šavovi – posebna obrada, $t > 25 \text{ mm}$,
- J šavovi – ugaoni spojevi, $t > 15 \text{ mm}$.



30. UGAONI ŠAVOVI (opšte, osnovni elementi šava, isprekidani šavovi)

Elementi koji se spajaju su pod uglom različitim od 180.



Ugaoni šavovi

- Nije potreba posebna obrada ivica;
- Primenuju se za ugaone i preklapne spojeve;
- Dodatni materijal se deponuje u korito koje obrazuju elementi (limovi) koji se spajaju;
- Tok sila je drugačiji nego kod sućeonih šavova;
- Drugačiji postupak proračuna;
- Mogu biti kontinualni ili isprekidani;

Minimalne i maksimalne dimenzije ugaonih šavova:

Osnovne dimenzije su debljina (a) i dužina (l) šava.

Minimalna debljina šava je $a_{min} = 3 \text{ mm}$

Maksimalna debljina šava je $a_{max} = 0,7t_{min}$ (izuzetno, kod šupljih profila, $a_{max} = t_{min}$);

Maksimalna dužina šava je $l_{max} = 100a$.

Minimalna dužina šava je $l_{min} = 6a$ ili 40 mm .

[31. DODATNI MATERIJALI ZA ZAVARIVANJE \(opšte, obložne elektrode, elektrodne žice\)](#)

- Dodatni materijal je metal koji se topi, meša sa rastopljenim osnovnim materijalom i ispunjava žljeb šava;
- Može da bude u vidu: obložene elektrode ili elektrodne žice;
- Mora da poseduje odgovarajuće mehaničke i metalurške karakteristike;

Obložene elektrode

- Sastoje se od metalnog jezgra (1) i obloge ili plašta (2);
- Prečnik jezgra (d) zavisi od debljine šava i može biti 2, 2,5, 3, 2, 4 ili 5 mm, a dužina (l) je 200, 300, 350 ili 450 mm;
- Na jednom kraju elektrode nema obloge kako bi se uspostavilo strujno kolo;

Zahevi koje treba da ispunjava obložena elektroda:

- Lako uspostavljanje električnog luka
- Lako ponovo uspostavljanje luka pri njegovom prekidu,
- Ravnomerno topljenje jezgra i obloge u toku zavarivanja,
- Dobro ispunjenje žljeba i formiranje šava,
- Dobro uvarivanje osnovnog materijala,
- Dobijanje šava određenog kvaliteta bez grešaka,
- Zavarivanje u svim položajima,
- Visoka produktivnost zavarivanja,
- Lako odvajanje troske sa ohlađenog šava,
- Lako skladištenje na suvom mestu bez promene osobina

Uloga obloge u procesu zavarivanja

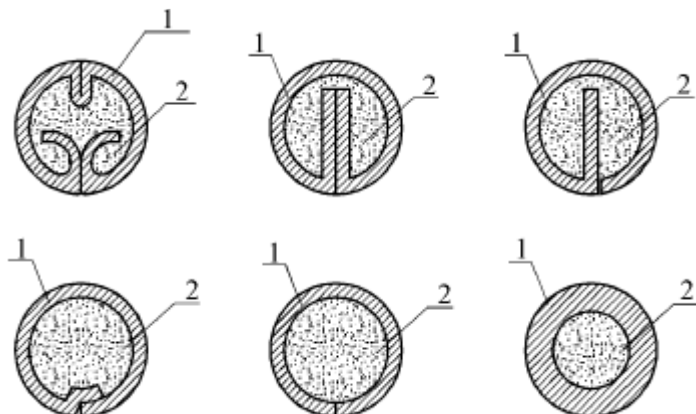
- Vršiti jonizaciju gasa u električnom luku kao bi se obezbedila stabilnost električnog luka (K, Ca, Ba, Li...);
- Stvara zaštitnu atmosferu oko luka i rastopa;
- Stvara trosku preko rastopa;
- Dovodi legirajuće elemente u rastop koji služe za dezoksidaciju i denitratizaciju (Mn, Al, Si, ...);

Elektrodne žice

- Kontinualne, metalne elektrode za poluautomatsko i automatsko zavarivanje;
- Mogu da budu: punjene ili pune;
- Punjene elektrodne žice se sastoje od metalnog cilindra i jezgra od metalnog i mineralnog praha;

Punjene elektrodne žice

Metalni cilindar se izrađuje od hladno valjnih traka koje se povijaju i ispunjavaju prahom; Prah ima istu ulogu kao i obloga kod obloženih elektroda; Izrađuju se u dimenzijama $d = 1,2 \text{ } 1,6 \text{ } 2,4 \text{ } 3,2 \text{ } 4 \text{ } 5 \text{ mm}$;



Pune elektrodne žice

- Izrađuju se od hladno vučenih ili hladno valjanih žica punog poprečnog preseka;
- Primenu se za zavarivanje MIG, MAG ili EPP postupkom;
- Presvlače se tankim slojem bakra radi antikorozijske zaštite;

32. GREŠKE U ŠAVOVIMA (vrste grešaka, uzroci nastanka grešaka u šavovima)

Greške se prema svojoj prirodi mogu podeliti na:

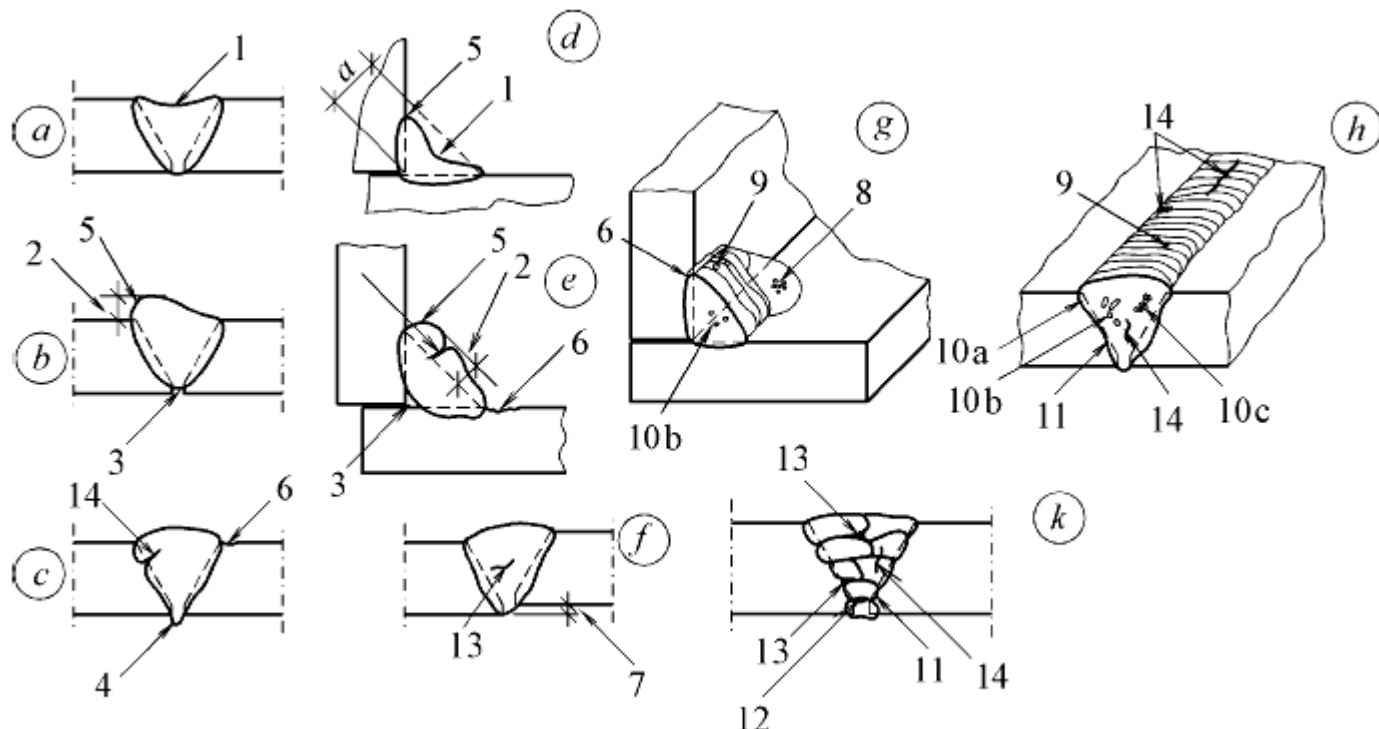
- Dimenzionalne greške ili greške oblika;
- Strukturne greške ili greške kompaktnosti;

Dimenzionalne greške u šavovima:

Nedovoljno ispunjavanje žljeba (1), Preveliko nadvišenje šava (2), Nprovaren koren šava (3), Prokapine na mestu korena šava (4), Oštar prelaz između šava i osnovnog materijala (5), Zarez na ivici šava (6), Denivelacija elemenata u žljebu (7), Krateri na početku i kraju šava (8) i Rupičavost površine šava (9).

Strukturne greške u šavovima

Gasne pore (10a), Rasuti mehuri (10b), Mehuri u lancu (10c), Nalepljivanje (11), Greške provarivanja korena (12), Uključci troske (13), Podužne i poprečne prsline (14).



- Greške predstavljaju materijalni diskontinuitet;
- Dolazi do koncentracija napona u zoni šava;
- Nisu sve greške istog značaja, odnosno iste opasnosti;
- Stepem rizika zavisi od: vrste greške, načina naprezanja i karaktera opterećenja;
- Dimenzionalne greške su vidljive golim okom i neke od njih se mogu korigovati;

Klasifikacija grešaka prema Međunarodnom institutu za zavarivanje:

- 100 – Prsline;**
- 200 – Poroznost i druge šupljine;**
- 300 – Različiti uključci;**
- 400 – Greške nalepljivanja i neprovaren koren;**
- 500 – Greške oblika;**
- 600 – Ostale greške;**

33. KONTROLA KVALITETA ZAVARENIH SPOJEVA

- **Obim i vrsta kontrole šavova zavise od: načina, karaktera i intenziteta napreznja, kao i od značaja spoja u konstrukciji i važnosti same konstrukcije;**
- **Treba izabrati optimalan nivo kontrole kvaliteta šavova imajući u vidu tehničke i ekonomske pokazatelje;**

Vrste kontrole kvaliteta šavova:

- **Vizuelna kontrola - vrše je kvalifikovana lica; mogu se otkriti samo dimenzionalne greške; koriste se pomoćna sredstva - šabloni;**
 - **Radiografska kontrola - materijali u zavisnosti od svoje gustine i debljine, apsorbuju različitu količinu rendgenskih ili gama zraka koji kroz njih prolaze; ukoliko zrak prolazi kroz poru ili prslinu on se manje apsorbuje, pa izaziva jače eksponiranje foto-emulzije; ta mesta su na radiogramu tamnija od ostalih "zdravih" delova šava; pored rendgenskih zraka koriste se i izotopi koji emituju gama zrake (iridijum, kobalt i cezijum); postupak radiografske kontrole se primenjuje i u radionici i na gradilištu; za terenske uslove bolji su uređaji na bazi izotopa (lakši su i ne koriste el. struju); postupak je izuzetno precizan i koristi se za veoma važne spojeve i konstrukcije; radiografski snimak (radiogram) trajni document o kvalitetu zavarenog spoja; koristi se kod čeličnih i konstrukcija od Al legura; za veće debljine (više od 50mm) koriste se izotopi, a za Al rendgenski zraci;**
 - **Ultrazvučna kontrola - zasniva se na činjenici da je brzina prostiranja ultrazvučnih talasa kroz određenu sredinu konstantna (čelik $v = 5850$ m/s; Al $v = 6300$ m/s); svaki diskontinuitet (pora, uključak,...) izaziva poremećaj – promena brzine i intenziteta talasa, primenjuju se ultrazvučni talasi visoke frekvencije 0,5 - 15 MHz; primenjuju se dve ultrazvučne metode:
 1. • **Metoda prozvučavanja;**
 2. • **Eho metoda**
 - 3.**
 - **Magnetska kontrola;**
 - **Penetracijska kontrola;**
- Razlikuju se tri kvaliteta sučeonih šavova:**
- **S ili specijal (B)**
 - **I kvalitet (C)**
 - **II kvalitet (D)**

Za svaki kvalitet šava zahteva se određen stepen kontrole kvaliteta!

Šavovi S-kvaliteta moraju da zadovolje sledeće uslove:

- da su vizuelno ujednačenog kvaliteta, jedri, bez naprslina,
- da nemaju grešaka na početku i kraju šava,
- da su eventualna nadvišenja i zarezi obrušeni i to u pravcu toka sila,
- da je koren šava dobro očišćen i ponovo zavaren,
- da je radiografska kontrola izvršena na čitavoj dužini šava (100%).

Šavovi I-kvaliteta

- nije potrebno da se obruse eventualna nadvišenja,
- radiografska kontrola na 50% dužine šava.

Šavovi II-kvaliteta

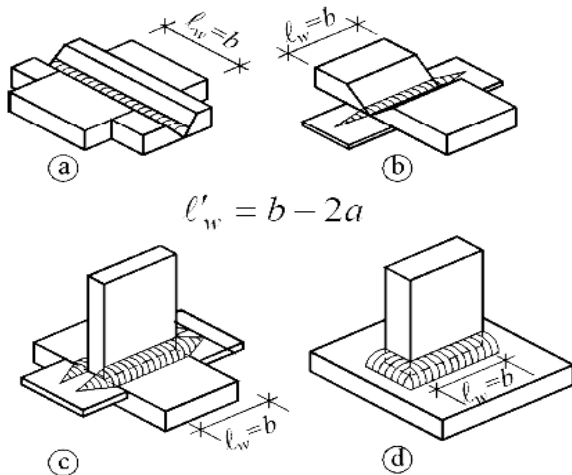
- ne zahteva se primena radiografske kontrole.

34. PRORAČUN NOSIVOSTI ZAVARENIH SPOJEVA (proračun sučeonih šavova)

Osnovne pretpostavke:

- zanemaruju se koncentracije napona;
- zanemaruju se sopstveni (zaostali) naponi;
- uticaji u šavovima se određuju kao u osnovnom materijalu;
- dimenzije sučeonih šavova su jednake dimenzijama osnovnog materijala ($a=t_{min}$);

Primena polaznih i završnih pločica:



Određivanje napona u sučeonim šavovima:

- normalni napon

- smičući napon

- uporedni napon

Dopušten napon za sućeone šavove ($\sigma_{b,w,dop}$)

$$\sigma_{b,w,dop} = k \cdot \sigma_{dop}$$

k - koeficijent kvaliteta;

σ_{dop} - dopušten napon za osnovni materijal;

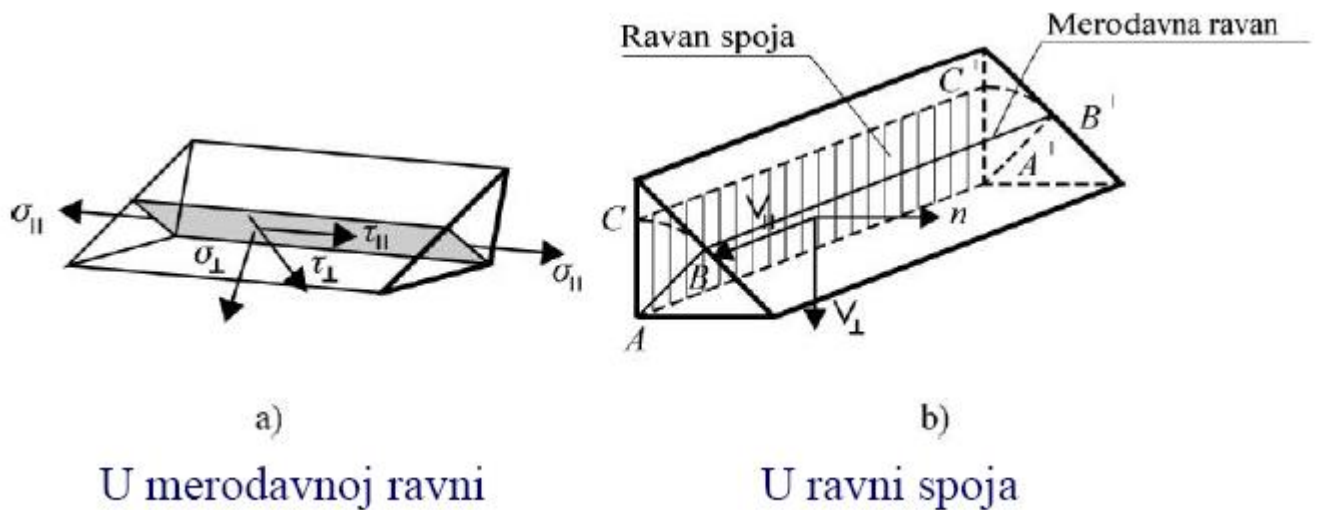
Koeficijent kvaliteta k zavisi od:

- kvaliteta šava;
- vrste napezanja;
- vrste čelika;

Dokaz nasivosti sućeonih šavova:

35. PRORAČUN NOSIVOSTI ZAVARENIH SPOJEVA (proračun ugaonih šavova)

Komponente napona u ugaonim šavovima:



- n normalni napon koji deluje upravno na ravan spoja;

- τ_{\parallel} napon smicanja koji deluje u pravcu šava;

- V_{\perp} napon smicanja koji deluje upravno na šav;

Kontrola nosivosti ugaonih šavova:

$$\sigma_u = \sqrt{n^2 + V_{\parallel}^2 + V_{\perp}^2} \leq \sigma_{w,dop}$$

- Uporedni napon σ_u je vektorski zbir svih komponentalnih napona u šavu!
- Dopušteni naponi za ugaone šavove $\sigma_{w,dop}$

Primena ugaonih šavova

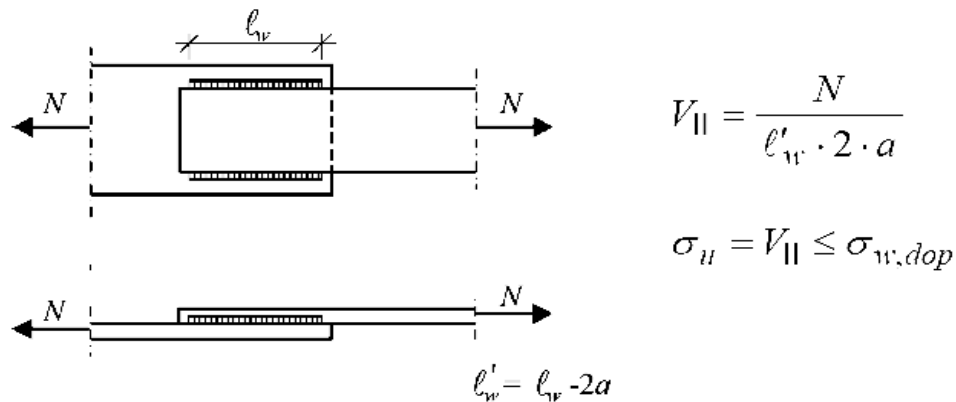
Aksijalno opterećeni elementi:

- spojevi na preklop i
- ugaoni spojevi.

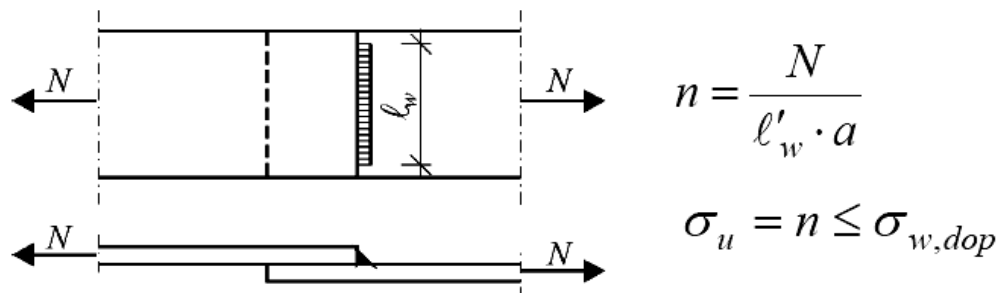
Veze kod elemenata opterećenih na savijanje;

Kombinovano napregnuti elementi;

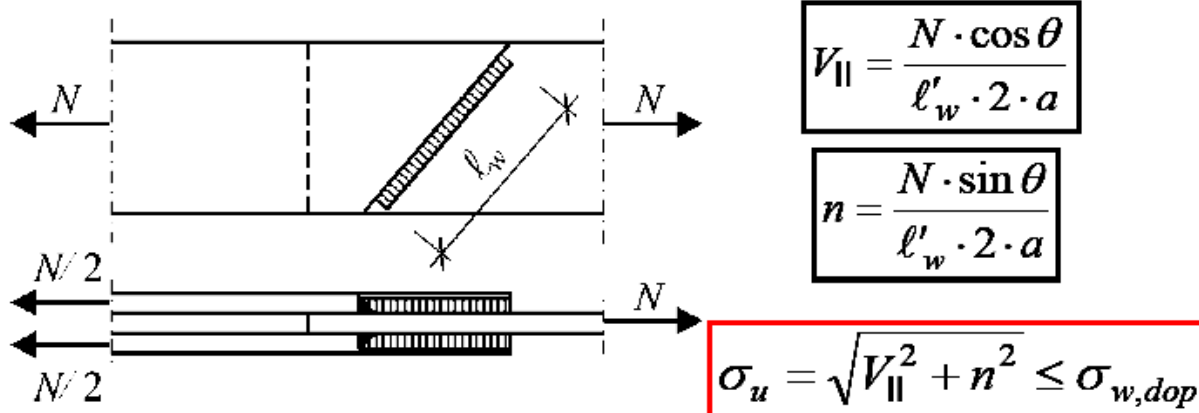
Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih spojeva na preklop, podužni (bočni) ugaoni šavovi:



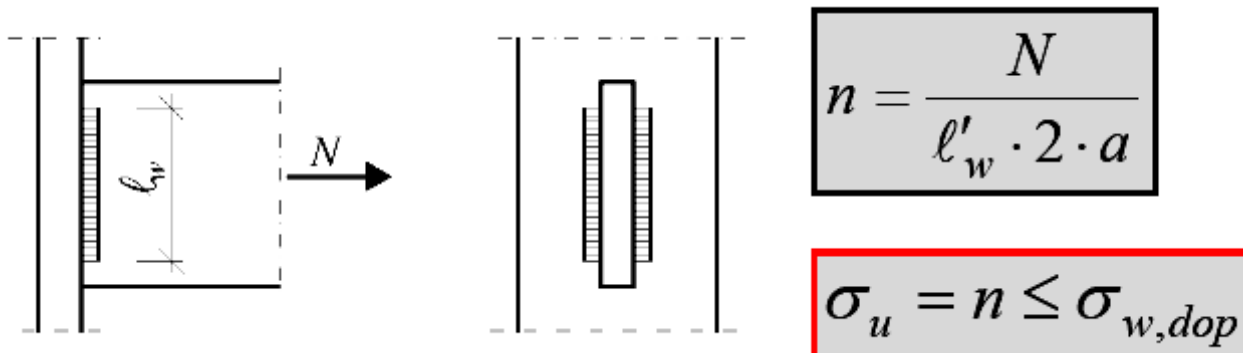
Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih spojeva na preklop. Poprečni (čeon) ugaoni šavovi



Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih spojeva na preklop - kosi ugaoni šavovi:



Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih elemenata u ugaonim spojevima:



36. KONSTRUISANJE ZAVARENIH SPOJEVA

Lako izvođenje zavarenog spoja (spoj pristupačan, položaj zavarivanja što jednostavniji); Primenu uobičajenih postupaka zavarivanja. Izvođenje šavova sa što manjim dimenzijama. Pravilan izbor vrste i kvaliteta šava. Ravnomeran tok sila. Male deformacije usled zavarivanja; Prihvatljive vrednost sopstvenih napona.

Treba izbegavati:

- Debele limove i debele šavove;
- Nagomilavanje šavova na jednom mestu;
- Oštre prelaze i nagle diskontinuitete kod dinamički opterećenih konstrukcija;
- Montažne nastavke u zavarenoj izradi;
- Teške položaje zavarivanja;
- Komplikovane detalje;

37. KOMPATIBILNOST RAZLIČITIH SPOJNIH SREDSTAVA U VEZI

- Ne mogu se sva spojna sredstva međusobno kombinovati u istoj vezi;
- Različita krutost spojnih sredstava onemogućava ravnomernu raspodelu sila;
- Primena različitih spojnih sredstava u istoj vezi, uglavnom kod sanacija i kod specifičnih konstrukcijskih sistema;

Ne mogu se kombinovati

- 1. Zakivci i obični (neupasovani) zavrtnjevi,**
- 2. Neupasovani zavrtnjevi i prednapregnuti visokovredni zavrtnjevi,**
- 3. Neupasovani zavrtnjevi i zavarivanje,**
- 4. Prednapregnuti visokovredni zavrtnjevi i obični (neupasovani) zavrtnjevi sa zazorom većim od 0,3 mm,**
- 5. Prednapregnuti visokovredni zavrtnjevi i zavarivanje kod dinamički opterećenih konstrukcija, osim kod elemenata opterećenih na savijanje (nosača).**
- 6. Sučeoni i ugaoni šavovi kod dinamičkog opterećenja.**