

ЗАВАРИВАЊЕ

15. Заваривање (дефиниција, примена, предности и недостаци, основни појмови)

Дефиниција:

Заваривање је технолошки поступак спајања истих или сличних метала. Спајање елемената се остварује уз помоћ високе температуре која изазива топљење додатног и основног материјала на месту споја. Растопи основног и додатног материјала се међусобно мешају и долази до њиховог физичког и хемијског сједињавања. Након хлађења долази до очвршћавања, чиме се ствара шав као физички континуитет материјала. На овај начин се остварује континуалан спој елемената који се заварују.

Примена:

- израда основних елемената конструкције (сандучасти, кружни, I, U, L - профили...)
- израда склопова специфичних конструкција (ортотропне плоче код мостова...)
- ојачање елемената конструкције (адаптације и санације)
- израда веза између елемената конструкције (самостално или у комбинацији са завртњевима)

Предности заваривања:

- материјални континуитет којим се омогућава континуалан ток сила
- остваривање крутих веза
- смањење укупне тежине конструкције (лакше везе)
- могућност варирања дебљине елемената
- бржа израда у радионици (нема бушења)
- нема слабљења елемената рупама за спојна средства
- велике могућности конструкцијског обликовања веза
- водонепропусност спојева
- побољшање изгледа конструкције

Недостаци заваривања:

- потреба за квалификованом радном снагом
- неопходан процес контроле квалитета у радионици и на градилишту
- осетљивост на климатске услове на градилишту
- повећана осетљивост на дејство пожара
- заварене везе нису монтажано-демонтажне

Основни појмови:

- **Основни материјал** је материјал од кога су израђени елементи који се спајају.
- **Додатни материјал** је материјал (жица или електрода) који се при заваривању топи и, мешањем са растопљеним металом основног материјала у зони шавва, образује растоп који, након хлађења и очвршћавања, формира шав.
- **Спој** одређује међусобни положај делова који се спајају.
- **Шав** је материјализовано место спајања, материјал између делова који се спајају.
- **Зона утицаја топлоте (ЗУТ)** је зона у основном материјалу непосредно уз шав у којој је, услед високих температура, дошло до структурних промена.
- **Жљеб** је простор предвиђен за депоновање додатног материјала приликом заваривања.
- **Завар** је део шавва добијен топљењем додатног материјала у једном пролазу.
- **Корени завар** је назив за завар који се први изводи.

16. Заваривање (основни принципи при пројектовању, врсте спојева и врсте шавова)

Основни принципи при пројектовању:

- везе и наставци морају да буду што једноставнији са становишта извођења
- положаји веза и наставака треба да буду изван зона максималних утицаја
- избегавати тешке положаје заваривања, јер је квалитет шавова слабији, а њихово извођење спорије и скупље
- захтевани степен контроле квалитета мора да одговара стварним потребама

Врсте спојева:

- сучеони спојеви
- угаони или Т спојеви
- преклопни спојеви

Врсте шавова:

- сучеони шавови са пуном пенетрацијом
- сучеони шавови са делимичном пенетрацијом
- угаони шавови
- шавови у рупама
- чеп шавови
- ужљебљени шавови

СУЧЕОНИ СПОЈЕВИ - спојеви код којих елементи леже у истој равни. Могу да се изведу помоћу сучеоних шавова са пуном или делимичном пенетрацијом. Могу да се користе за спајање елемената исте или различите дебљине.

УГАОНИ СПОЈЕВИ - изводе се код елемената који међусобно заклапају одређени угао ($\neq 180^\circ$).

Могу да буду прави (\perp) или коси (\sphericalangle).

Могу да се изведу помоћу сучеоних шавова са пуном или делимичном пенетрацијом или помоћу угаоних шавова.

Када се један од елемената на месту споја не прекида, назива се **непрекинути угаони спој**. Уколико се оба елемента прекидају, назива се **прекинути спој**.

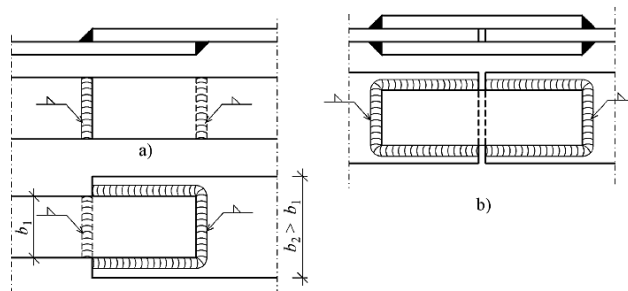
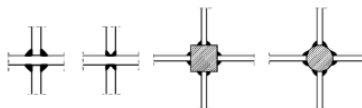
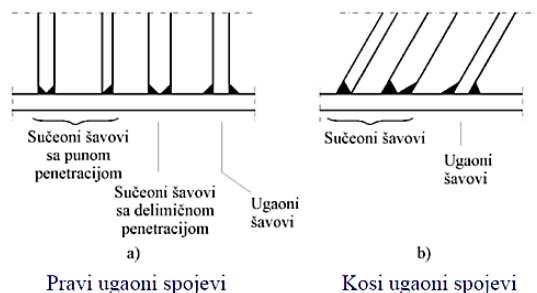
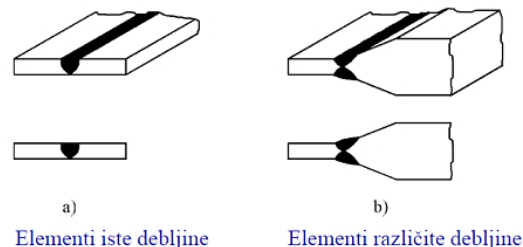
КРСТАСТИ СПОЈЕВИ - елементи који се спајају образују крст.

Овакви спојеви су неповољни због концентрације напона.

ПРЕКЛОПНИ СПОЈЕВИ - спојеви између преклопљених елемената који леже у две паралелне равни.

Постоје:

- а) директни преклопни спојеви
- б) преклопни спојеви са подвезицама

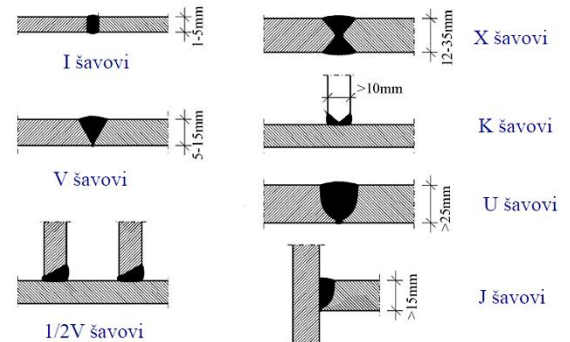


• СУЧЕОНИ ШАВОВИ

- изводе се помоћу једног или више зава, између елемената исте или различите дебљине
- примењују се за израду сучеоних и угаоних спојева
- за дебљину сучеоних шавова може да се усвоји дебљина тањег елемента у споју

Врсте:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| a) I шавови - без обраде ивица, | $t = 1-5 \text{ mm}$ |
| b) V и $\frac{1}{2}V$ шавови | $t = 5-15 \text{ mm}$ |
| c) X шавови | $t = 12 - 35 \text{ mm}$ |
| d) K шавови - угаони спојеви, | $t > 10 \text{ mm}$ |
| e) U шавови - посебна обрада, | $t > 25 \text{ mm}$ |
| f) J шавови - угаони спојеви, | $t > 15 \text{ mm}$ |

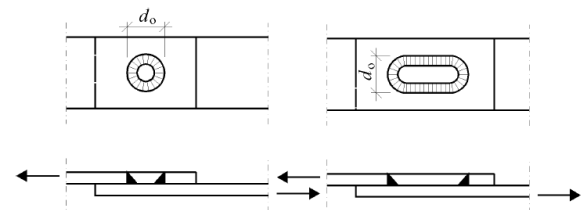


• УГАОНИ ШАВОВИ

- изводе се код угаоних спојева и спојева на преклоп
- за њихову израду није потребна посебна обрада ивица
- јефтинији су од сучеоних шавова
- додатни материјал се депонује у корито које образују елементи који се спајају
- могу бити континуални и испрекидани
- испрекидане не треба користити у корозионој средини
- угао између елемената који се спајају треба да буде између 60° и 120°
- ток сила је другачији него код сучеоних шавова

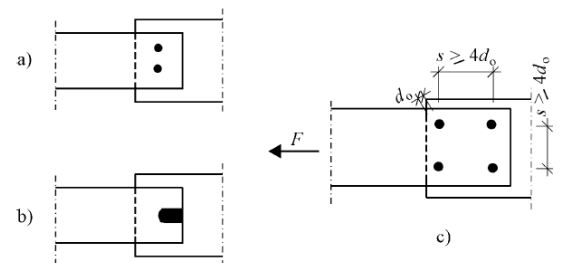
• ШАВОВИ У РУПИ

- изводе се као угаони шавови по читавом обиму рупе
- користе се код преклопних спојева за пријем сила смицања
- пречник рупе не треба да буде мањи од четвороструке дебљине елемента



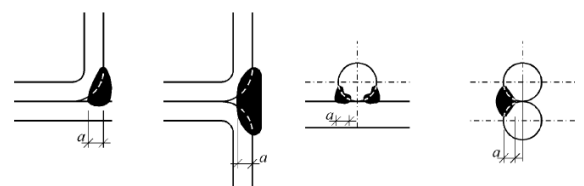
• ЧЕП ШАВОВИ

- изводе се у мањим рупама и то потпуним испуњењем рупа растопом
- користе се за међусобно спајање лимова, да би се омогућио њихов заједнички рад
- користе се само за пренос смицања



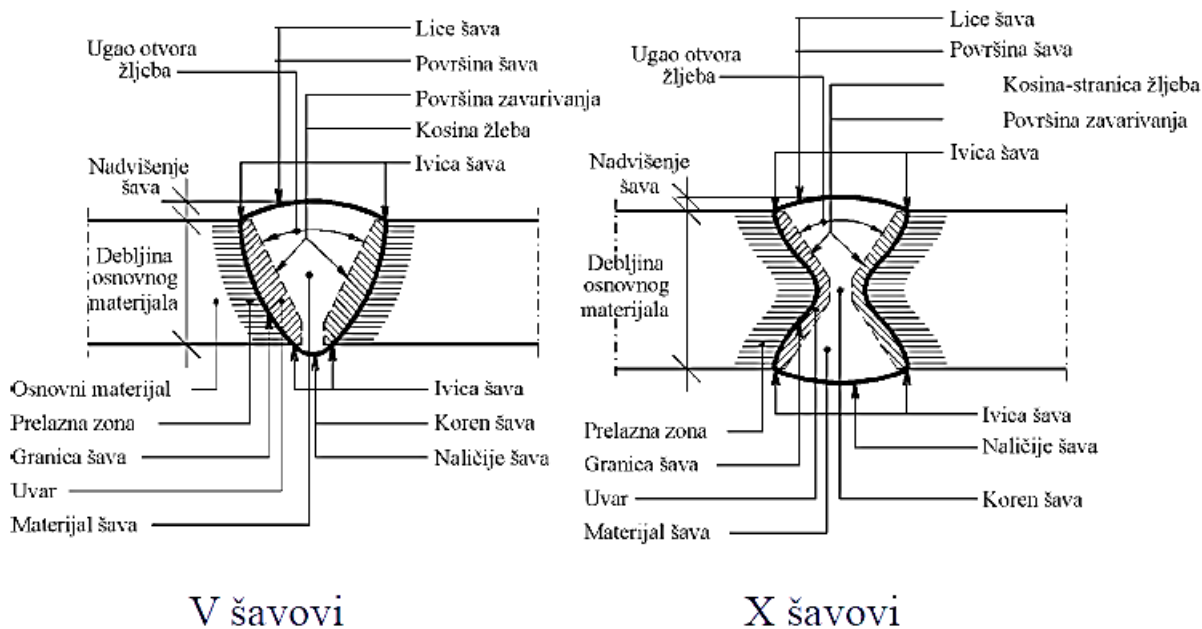
• УЖЉЕБЉЕНИ ШАВОВИ

- користе се за спајање два елемента који имају заобљене ивице, или при заваривању арматурних шипки или анкера



17. Основни елементи сучеоног шава - функција и облик жљеба

Основни елементи сучеоног шава:



V šavovi

X šavovi

Основне функције жљеба су:

- да омогући приступ електроди по читавој дебљини лима
- да се омогући топљење основног материјала
- да се формира корито за депоновање мешавине основног и додатног материјала
- да се створи одређена маса додатног материјала која је потребна за спајање елемената

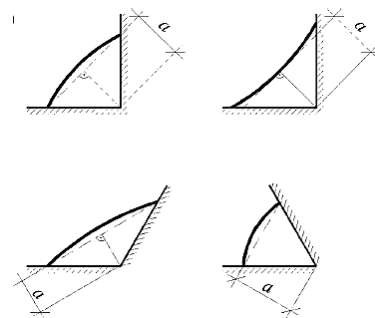
Облици жљебова:

Napomena	Žljeb		Šav		Debljine limova
	Izgled	Naziv	Izgled		
Sučeoni spojevi					
Bez obrade		I - šav			1-5 mm
Žljeb oblika 1/2V		1/2V - šav			5-15 mm
Žljeb oblika V		V - šav			5-15 mm
Žljeb oblika K		K - šav			15-30 mm
Žljeb oblika X		X - šav			12-35 mm
Žljeb oblika Y		Y - šav			>15 mm
Žljeb oblika U		U - šav			> 25 mm
Obostrani žljeb oblika U		Dvostruki U - šav			>30 mm
Ugaoni spojevi					
Žljeb oblika 1/2V		1/2V - šav			5-15 mm
Žljeb oblika K		K - šav			> 10 mm
Žljeb oblika J		J - šav			>15 mm

18. Основни елементи угаоног шави - минималне и максималне димензије



- минимална дебљина је 3mm
- максимална дебљина је $0,7t_{\min}$
- дебљина угаоног шави је једнака висини највећег троугла који се може уписати у тело шави!



19. Поступци заваривања, означавање шавова у техничкој документацији

Приликом заваривања топлота игра једну од најзначајнијих улога. Количина унесене топлоте утиче на количину истопљеног материјала. Од унесене количине топлоте зависи време задржавања материјала у шаву и око шави изнад одређених критичних температура, као и брзина хлађења. Ови параметри су доминантни у погледу структурних промена које се одвијају у материјалу и од којих зависи квалитет изведеног споја.

Поступци заваривања:

могу да се поделе према изворима топлотне енергије

1. електротермички извори топлоте
2. термохемијски извори топлоте
3. механички извори топлоте
4. остали извори топлоте

Примена одређеног поступка заваривања зависи од врсте конструкције и материјала који се заварује, дебљине елемената, величине и врсте напрезања, захтеваног квалитета споја...

Најчешће се примењује електролучно заваривање које спада у електротермичке изворе.

Најзначајнији електролучни поступци заваривања:

1. са обложеном електродом
2. под заштитним прахом
3. електродном жицом под заштитом инертног гаса
4. електродном жицом под заштитом активног гаса
5. нетопљивом електродом под заштитом инертног гаса

Обележавање шавова у техничкој документацији: ----->

Naziv šava	Izgled	Oznaka
I - šav		
V - šav		
V - šav sa provarenim korenom		
1/2V - šav		
K - šav		
X - šav		
U - šav		
Ugaoni šav		

20. Грешке у шавовима

Најважнији елементи који утичу на појаву грешака у шавовима су врста и хемијски састав материјала, врста технолошког поступка и примењена опрема, врста додатног материјала, квалификованост радника и др. Неке од грешака немају велики утицај, док друге имају веома неповољан утицај.

Грешке се могу поделити на:

- димензионалне грешке или грешке облика
- структурне грешке или грешке компактности

Услед грешака у шавовима долази до концентрација напона, па у случају појаве зареза, прлина или већих укључака ваздуха, напони у овим тачкама могу да буду већи од напона на граници развлачења.

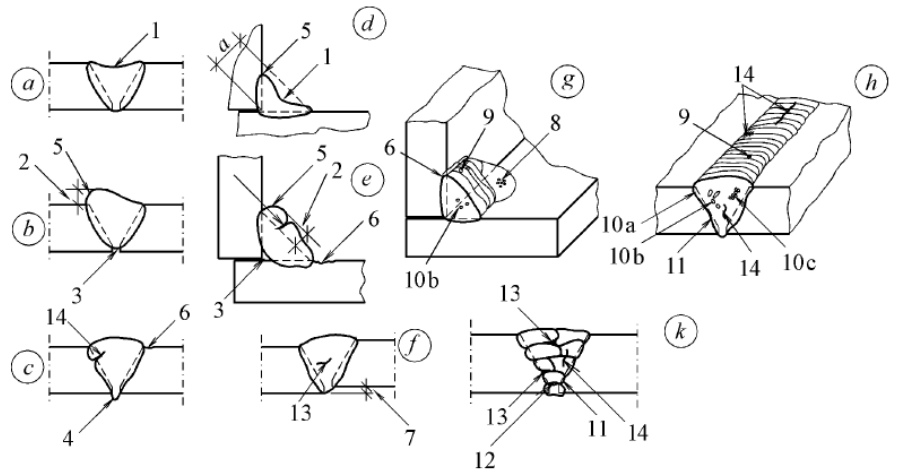
Степен ризика услед грешака зависи од:

- врсте напрезања
- врсте грешке
- карактера оптерећења

Уколико се правци грешака поклапају са правцем тока сила, оне су мање опасне од грешака управних на ток сила.

Најнеповољнија врста напрезања је затезање. Могу се јавити прсline или продужење постојећих прсline.

Димензионалне грешке су видљиве голим оком и оне се могу кориговати.



1 - neispunjen žljeb; 2 - nadvišenje; 3 - neprovaren koren; 4 - prokapina; 5 - oštar prelaz; 6 - zarez; 7 - denivelacija; 8 - krater; 9 - poroznost površine; 10 - gasne pore; 11 - nalepljivanje; 12 - greške u provaranju korena; 13 - ukljucci troske; 14 - prsline

21. Контроле квалитета шавова

Обим и врста контроле квалитета шавова зависи од интензитета и врсте напрезања шавова, као и од значаја тог шавова за целу конструкцију. Пре приступања контроли неопходно је знати следеће чињенице:

- којим технолошким поступком је изведено заваривање и ниво стручности радника
- врсту материјала, његове карактеристике...
- тип и значај конструкције
- значај појединих шавова у конструкцији
- начин напрезања конструкције (статичко, динамичко)
- врсту напрезања
- радну температуру

Најзначајније контроле квалитета шавова:

- визуелна контрола
- радиографска контрола
- ултразвучна контрола
- магнетска контрола
- пенетрацијска контрола

ВИЗУЕЛНА КОНТРОЛА

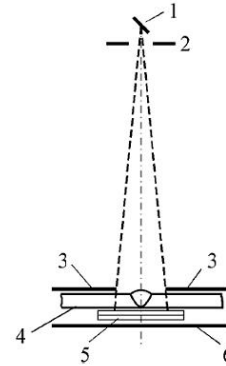
Обавља се детаљним прегледом шавова од стране квалификованог лица. Ова контрола представља главну контролу за све шавове. Користе се одређена помагала (шаблони) за утврђивање димензија жљеба и изведеног шавова. Могу се открити само димензионалне грешке.

РАДИОГРАФСКА КОНТРОЛА

Састоји се у снимању шавова радиографским путем и може да се врши у радионици и на монтажи.

Поступак се заснива на чињеници да материјали, у зависности од своје густине и дебљине, апсорбују различиту количину рендгенских или гама зрака који кроз њих пролазе.

Ова метода је врло прецизна и често се користи за контролу значајних шавова.



- 1 Izvor rendgenskih ili gama zraka;
- 2 Blenda;
- 3 Propust za lokalizaciju šava;
- 4 Šav koji se ispituje (snima);
- 5 Film sa osetljivom emulzijom;
- 6 Olovna folija;

УЛТРАЗВУЧНА КОНТРОЛА

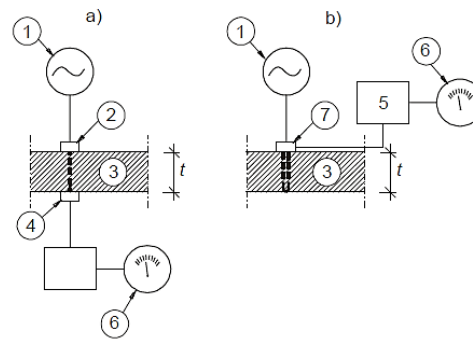
То је метода испитивања без разарања, помоћу које могу да се одреде врста, место и величина грешака компактности у шавовима. За испитивање се користе ултразвучни таласи са високом фреквенцијом.

Постоје две методе:

- a) метода прозвучавања
- b) ехо метода

Метода прозвучавања заснива се на мерењу интензитета таласа послатог преко предајника и интензитета примљеног таласа (преко пријемника).

Ехо метода се заснива на особини ултразвучних таласа да се при наиласку на површину метала рефлектују, па се мери интензитет.



- 1 Visokofrekventni generator
- 2 Predajnik
- 3 Materijal koji se ispituje
- 4 Prijemnik
- 5 Pojačivač signala
- 6 Indikator vremena prolaska
- 7 Primopredajna glava

МАГНЕТСКА МЕТОДА

Заснива се на променама у магнетном пољу које настају услед грешака у шавовима.

ПЕНЕТРАЦИЈСКА МЕТОДА

Заснива се на способности течности велике површинске активности да се увлачи у врло уске прслине.

22. Квалитет шавова - веза са класама извођења

Обим и врста контроле шавова зависе од класе извођења конструкције (EXC1, EXC2, EXC3, EXC4), односно од прописаног квалитета шавова. Сваки квалитет шавова подразумева одређен ниво контроле квалитета.

Разликују се следећи квалитети шавова:

- В+ (за EXC1) - највиши
- В (за EXC2)
- С (за EXC3)
- D (за EXC4) - најнижи

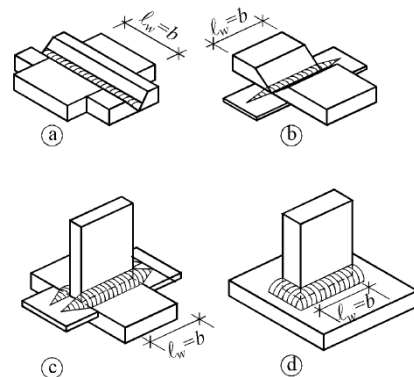
23. Прорачун сучеоних шавова

Полази се од следећих претпоставки:

- локална концентрација напона се занемарује
- сопствени напони се занемарују
- утицаји у шавовима се одређују као у основном материјалу
- димензије сучеоних шавова су једнаке димензијама основног материјала ($a = t_{\min}$)

Рачунска дебљина шавова a је једнака дебљини тањег елемента у споју ($a = t_{\min}$).
Рачунска дужина шавова l_w је једнака дужини на којој је постигнута пројектована висина шавова. Најчешће је то ширина елемента који се спајају ($l_w = b$), под условом да се извођење шавова започне и завршава полазним односно завршним плочицама. Ширина ових плочица треба да буде већа од двоструке дебљине шавова. Применом ових плочица се знатно смањују заостали напони у споју. Уколико се сучеони спој изводи без плочица, тада треба узети у обзир постојање кратера на почетку и на крају шавова:

$l_w' = b - 2a$ - ефективна дужина.



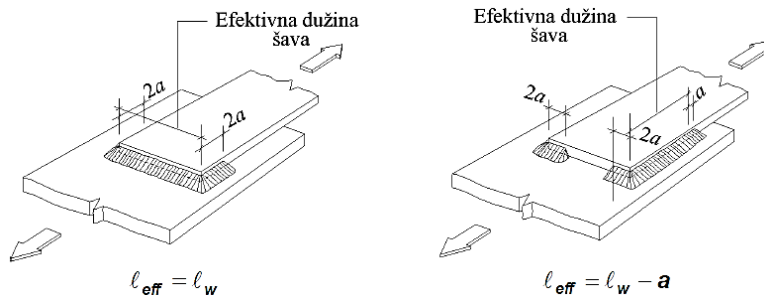
24. 25. Прорачун угаоних шавова - директна и поједностављена метода

- дебљина угаоног шавова је једнака висини највећег троугла који може да се упише
- угао између елемената који се спајају се креће у распону $60^\circ - 120^\circ$
- уколико је већи од 120° , угаони шавови се не сматрају подобним за преношење сила
- минимална дебљина угаоног шавова је 3mm
- дебљина угаоног шавова не треба да буде већа од $0,7t_{\min}$
- у извесним случајевима код челика веће чврстоће може се усвојити већа дебљина угаоних шавова
- код веза шупљих профила дебљина угаоног шавова може да буде једнака дебљини зида профила $a = t_{\min}$
- и код угаоних шавова у обзир треба узети ефективну дужину шавова
- постављање полазних и завршних плочица не долази у обзир
- не треба их прекидати на угловима елемената, већ их треба континуално превести заокретањем око угла на дужини једнакој барем двострукој дебљини шавова
- у општем случају (ако није могуће извести заокретање): $l_{\text{eff}} = l_w - 2a$

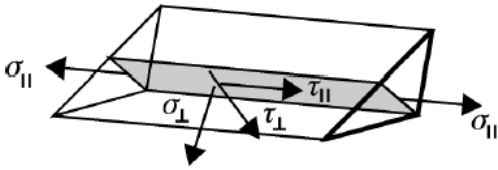
- минимална дужина шавова је: $l_{w,\min} = \max\{6a, 30\text{mm}\}$

- максимална дужина шавова је: $l_{w,\text{eff}} = 150a$

- ефективна површина шавова је: $A_w = \Sigma a l_{\text{eff}}$



Максимална напрезања у угаоном шаву се јављају у меродавној равни.



σ_{\perp} - нормални напон управан на меродавну раван

τ_{\perp} - напон смицања који делује управно на шав

σ_{\parallel} - нормални напон паралелан оси шав (занемарује се!)

τ_{\parallel} - напон смицања који делује у правцу шав

Прорачун носивости угаоних шавова:

- **директна метода** - заснива се на контроли појединачних и упоредних напона у меродавној равни шав
- **поједностављена метода** - заснива се на контроли резултујућих сила по јединици дужине шав

ДИРЕКТНА МЕТОДА

Оба следећа услова морају да буду испуњена:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

β_w – корелациони фактор, зависи од квалитета челика и износи 0,8 - 1,0

ПОЈЕДНОСТАВЉЕНА МЕТОДА

У свакој тачки дуж шав резултујућа сила по јединици дужине $F_{w,Ed}$ мора да задовољи следећи услов:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} = f_{vw,d} a$$

$f_{vw,d}$ - прорачунска чврстоћа на смицање

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

** Дебљина обостраних угаоних шавова на аксијално оптерећеном елементу може да се одреди из услова да шавови имају већу или једнаку носивост од спојеног елемента:

$$a \geq \frac{\beta_w f_{yb} \gamma_{M2} t}{\sqrt{2} f_{ub} \gamma_{M0}}$$

26. Редукције носивости код дугих веза остварених завртњевима и заваривањем

ШАВОВИ

Код дугих угаоних шавова на преклоп ($\ell_{w,eff} > 150a$), неравномерна расподела напона дуж шавова се узима у обзир тако што се редукује носивост угаоног шавова множењем коефицијентом редукције $\beta_{Lw,1}$:

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - \frac{0,2L_j}{150a} \leq 1 \quad \text{где је } L_j \text{ - дужина угаоног шавова, односно преклопа}$$

ЗАВРТЊЕВИ

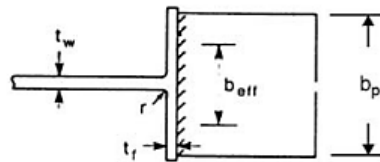
Редукција је потребна када је растојање између првог и последњег завртња веће од $15d$, а врши се тако што се носивост завртња множи коефицијентом редукције β :

$$F_{V,red} = \beta F_V \quad \beta = 1 - \frac{\ell - 15d}{200d} \quad 0,75 \leq \beta \leq 1$$

27. Ефективна ширина шавова код неукрућеног Т споја

Код угаоних спојева без укрућења, као што су на пример везе лимова за неукрућене ножице I, H, U или сандучастих пресека, ефективну ширину шавова треба редуковати услед разлике у крутости спојних елемената.

ЗА ВАЉАНЕ И ЗАВАРЕНЕ I И H ПРОФИЛЕ

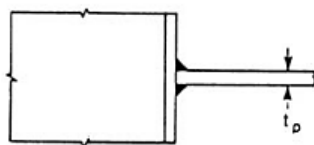


$$b_{eff} = t_w + 2s + 7k t_f$$

$$k = \frac{t_f}{t_p} \frac{f_{y,f}}{f_{y,p}} \leq 1$$

$$s = \sqrt{2} a \quad \text{zavareni profili}$$

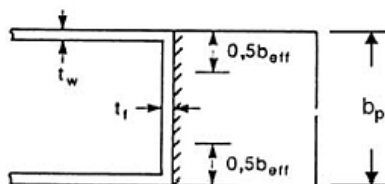
$$s = r \quad \text{valjani profili}$$



$$b_{eff} \geq \frac{f_{y,p}}{f_{u,p}} b_p$$

U suprotnom veza treba da bude ukrućena!

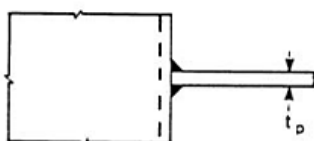
ЗА САНДУЧАСТЕ ИЛИ U ПРОФИЛЕ



$$b_{eff} = 2t_w + 5t_f$$

ali

$$b_{eff} \leq 2t_w + 5k t_f$$



28. Правила за пројектовање и конструисање заварених спојева

Општи принципи:

- 1 - лако извођење завареног споја; спој мора да буде приступачан а положај заваривања што једноставнији
 - 2 - примена уобичајених поступака заваривања
 - 3 - примена заварених монтажних наставка у што мањем броју
 - 4 - извођење шавова са што мањим димензијама
 - 5 - правилан избор врсте и квалитета шава, као и врсте споја
- равномернији ток сила, чиме се избегавају концентрације напона
 - мале деформације услед заваривања
 - прихватљиве вредности сопствених напона насталих услед заваривања

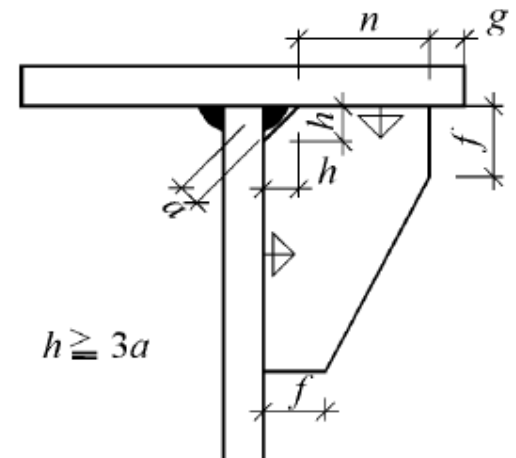
Треба избегавати:

- дебеле лимове и дебеле шавове
- нагомилавање шавова на једном месту
- оштре прелазе и нагле дисконтинуитете код динамички оптерећених конструкција
- монтажне наставке у завареној изради
- тешке положаје заваривања
- компликоване детаље

• Конструисање укрућења

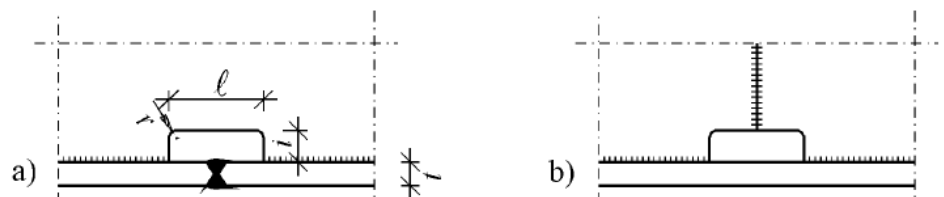
- за повећање носивости
- врши се због избегавања појаве кратера на почетку и на крају шав

Дебљина lima t (mm)	h	f	g	n
4-8	>20	10	>5	>40
8-12	>25	10	>10	>50
12-16	>30	15	>10	>55
16-26	>40	20	>15	>60
26-40	>50	25	>20	>80
40-90	>60	30	>25	>100

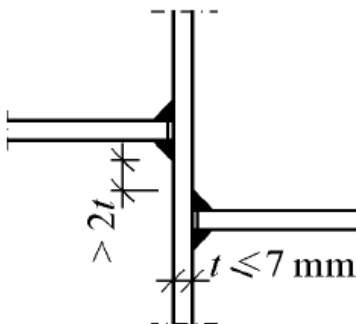
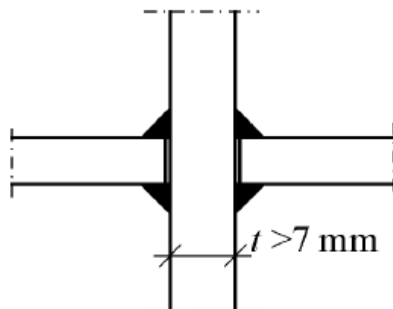


• Засецање ребра на месту укрштања

Уколико се осе штапова укрштају, а шавови се изводе један изнад другог, шав који се накнадно изводи треба прекинути изнад изведеног шав. То се најчешће изводи засецањем лима. На тај начин се елиминише стварање зареза и ремећење тока сила.



- **Конструисање крстастих спојева**

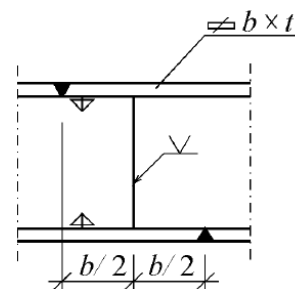


Овим размицањем се смањује опасност од појаве ламеларног цепања основног лима услед уношења велике топлотне енергије при заваривању.

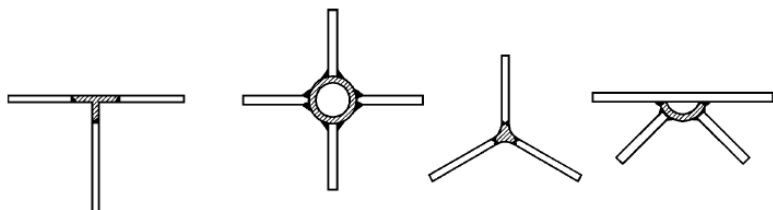
Не препоручује се да дебљина угаоних шавова буде већа од половине дебљине најтањег елемента ($a < 0,5t_{\min}$)!

- **Конструисање радионичких наставка носача**

Наставке носача у завареној изради не треба изводити у истом попречном пресеку. Пожељно је да се наставци међусобно помере за половину ширине ножице. На тај начин се избегава нагомилавање шавова и смањује могућност појаве грешака.



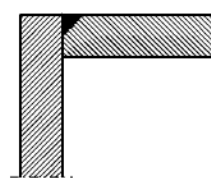
- **Избегавање нагомилавања шавова**



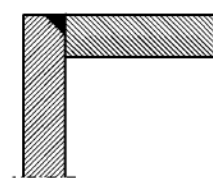
Траба избегавати нагомилавање и преклапање шавова на једном месту. Потенцијално то је опасно место са доста грешака у шавовима. То може да се избегне убацивањем комада од пуног челика или од дебелозидних шупљих профила.

- **Конструисање с обзиром на ламеларно цепање**

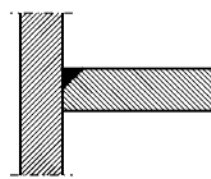
Ако су напони затезања услед оптерећења или заосталих напона управни на површину дела за који се заварује, код лимова дебљине $> 15 \text{ mm}$ постоји опасност од појаве ламеларног цепања. Да би се оно избегло неопходно је да се примени одговарајући поступак заваривања и да материјал има одговарајућу жилавост. Може да се избегне правилним обликовањем споја.



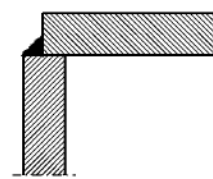
Osetljiv detalj



Poboljšan detalj



Osetljiv detalj

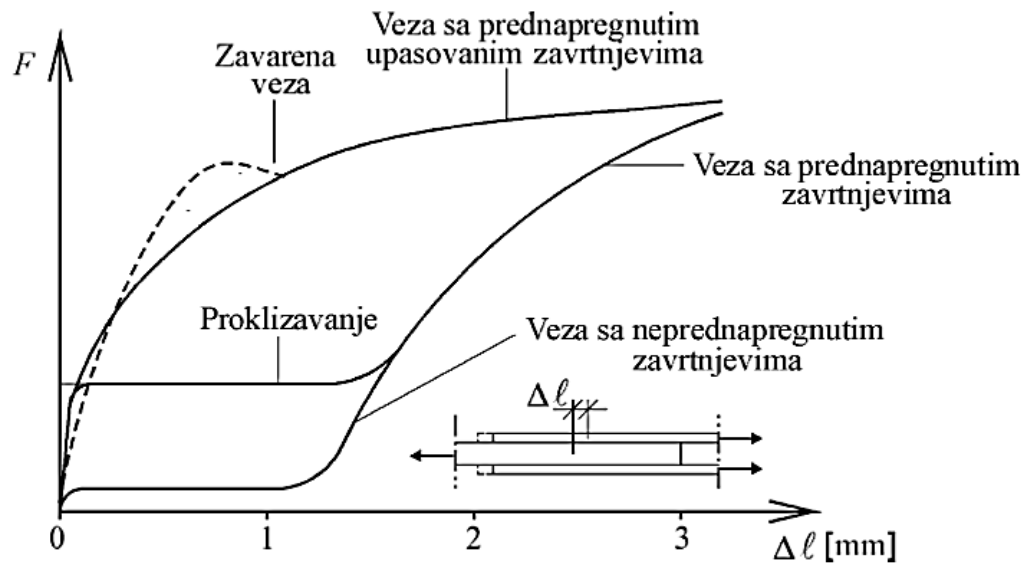


Poboljšan detalj

29. Компатибилност различитих спојних средстава

Различита спојна средства најчешће се примењују при реконструкцији или ојачању постојеће конструкције.

Да би примена различитих спојних средстава била конструктивно и статички коректна, неопходно је познавати понашање сваког спојног средства појединачно и у комбинацији са другим спојним средствима. Крутост спојних средстава је најважнији параметар од кога зависи понашање везе под оптерећењем. Највећу крутост имају везе у завареној изradi, а сучеони шавови имају нешто већу крутост од угаоних. Код веза са завртњевима, највећу крутост имају везе са преднапрегнутим високовредним завртњевима. Различита крутост спојних средстава онемогућава равномерну расподелу сила.



дијаграм деформабилности (крутости) различитих спојних средстава

Не могу се комбиновати:

- закивци и обични (необрађени) завртњевима
- неупасовани завртњевима и преднапрегнути високовредни завртњевима
- неупасовани завртњевима и заваривање
- преднапрегнути високовредни завртњевима и обични завртњевима са зазором >0,3mm
- преднапрегнути високовредни завртњевима и заваривање код динамички оптерећених конструкција, осим код елемената оптерећених на савијање
- сучеони и угаони шавови код динамичког оптерећења

**Пример ортотропне плоче:

