

8. Svařované spoje

Technologie svařování, značení a kontrola svarů, návrh tupých svarů, návrh koutových svarů zjednodušenou a zpřesněnou metodou.

Technologie svařování

Rozdělení svařování:

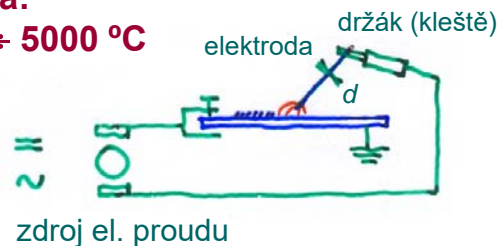
- **tavné:** materiály tekuté (MMA, MAG, MIG, TIG, SAW, plamenem)

[též plazmou a laserem – viz předmět Nerezové konstrukce]

- **tlakem:** materiál v těstovitém stavu (stykové, přeplátování).

Ruční svařování el. obloukem (MMA – manual metal-arc) (ČSN EN ISO 4063: 111)
1885 Benardos (C elektroda), 1888 Slavjanov (kovová), 1920 Kjellberg (obalená).

teplota:
3000 ÷ 5000 °C



$I = 35 d$ až $55 d$ [A] pro d [mm]
 $U = 15$ až 40 [V]

Zdroj:

- dynamo,
- transformátor,
- alternátor + usměrňovač,
- invertory (moderní tranzistorové usměrňovací zdroje s vysokou účinností).

NNK – ocelové konstrukce (8)

1

Holé elektrody: podřadný svar (ze vzduchu přebírá O, N, spaluje se Mn, C)

Obalené:

d  1,2 až 2 d

průměr 2 až 6,3 mm
(pro první vrstvu obvykle
 $d = 3,15$ mm)

funkce: - ionizuje vzduch a stabilizuje oblouk,
- zabraňuje přístupu vzduchu,
- tvoří strusku chránící svar,
- může legovat (Cr, Ni, Mo, V).

Obaly:

- kyselé (obsahují oxidy železa), velký výkon, nehodí se pro polohové svary, vhodné pro střídavý i stejnosměrný proud,
- bazické (bez oxidů železa, s uhličitany jako vápenec, křída ...), vhodné pro polohové svařování, kvalitní, nutno je vysoušet ($150\div 300$ °C), stejnosměrný proud,
- rutilové (obsahují oxid titaničitý = rutil), vhodné pro polohové svařování, malý závar, vhodné pro tenké plechy, stejnosměrný i střídavý proud.

Svařování el. obloukem v ochranné atmosféře

Plyn má funkci obalu (elektrický proud =, ~).

MAG (metal-active gas) (135)

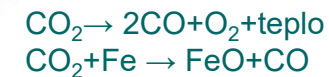
aktivní plyn CO_2

(chemicky reaguje)

nebo směsné plyny ($\text{CO}_2 + \text{Ar}$)

(např. T.I.M.E.: 85% Ar)

holá kovová elektroda ($\text{Ø } 0,8 \div 2,5 \text{ mm}$)

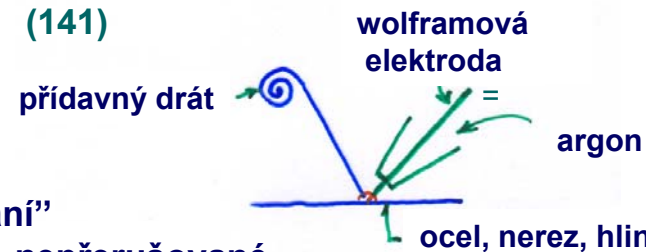


MIG (metal-inert gas) (131)

místo CO_2 netečný plyn Ar

TIG (tungsten-inert gas), česky **WIG** (141)

↓ wolfram



Závěr:

- „poloautomatické svařování“
- 1,5 x výkonnější než MMA, nepřerušované

Svařování el. obloukem pod tavidlem SAW (submerged-arc welding) (12)

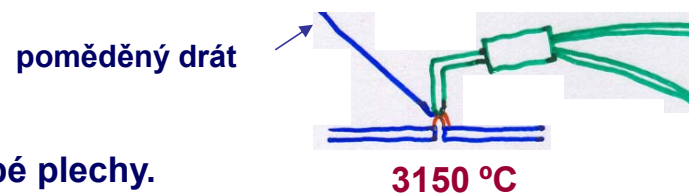
Tavidlo má funkci obalu (proud =, ~).



(pečlivě připravit svarové plochy,
na začátku a konci spoje
přistehovat výběhové desky)

- Závěr:**
- „automatické svařování“
 - 5 x výkonnější než MMA, vysoká kvalita
 - nevýhoda: pouze vodorovné svary

Svařování plamenem (311)



C₂H₂ acetylen
(1.5 MPa, N kaštanová,
dříve bílá)

O₂ kyslík
(15 MPa, N modrá)

Nenosné části, slabé plechy.

Zejména se využívá pro „řezání kyslíkem“.

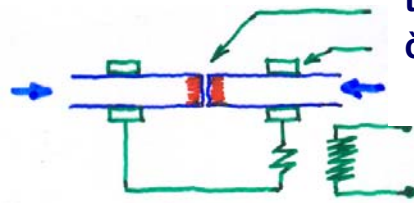
NNK – ocelové konstrukce (8)

4

Svařování elektrickým odporem (tlakem)

1. Stykové

- pēchovací
- odtavením



teplo (odpor)
čelisti

Joule-Lenzův zákon pro teplo [J]:

$$Q = R I^2 t$$

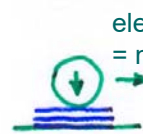
odpor [Ω] čas [s]
svař. proud [A]

2. Přeplátováním

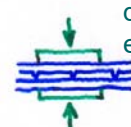
- bodové
- švové
- výstupkové, bradavkové (na lisech)



bodová
elektroda



elektroda
= měděná kladka



desková
elektroda

Další typy svařování (pro plazmové a laserové viz předmět Nerezové konstrukce):

- **pod vodou** (suché, mokré – oblouk hoří v oblasti odstíněné plasmou či tlak. vodou)
- **přivařování trnů pro spřažené konstrukce** (např. pistole PHM-250, GD 22/25 fi PROWELD)

Další typy spojování kovů: pájení (ne pro OK)

- pájka z jiného materiálu, s nižším bodem tavení: - měkké ($T < 450$ °C, cín),
- tvrdé (měď, mosaz ...)

NNK – ocelové konstrukce (8)

5

Tvary svarů a značení

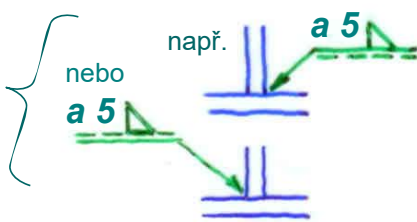
Pozor: šipka vždy směřuje k místu svaru, u tupých svarů na úkos!! Pokud je svar na opačné straně, umístí se značka na tzv. identifikační (čárkovanou) čáru.

Koutové

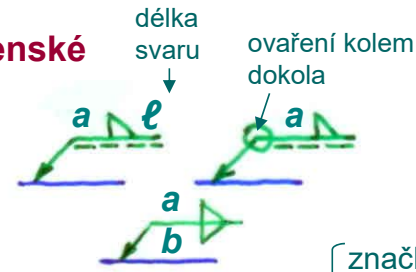
Uvádí se písmeno a číslo, např.: a 5 (ale lze i z 7)



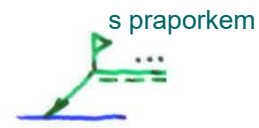
značení:



díleenské

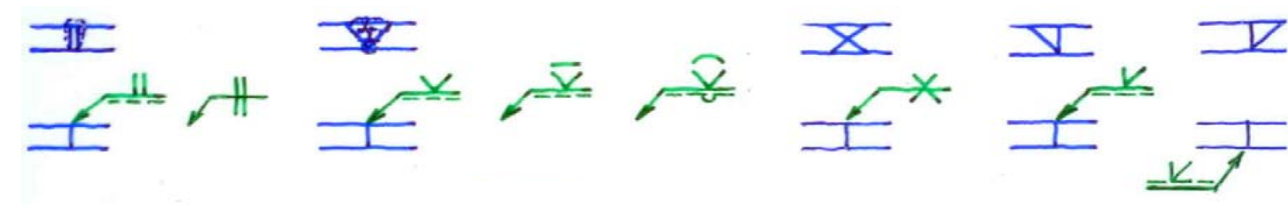


montážní



[značky lze kreslit nad i pod odkazovou čáru]

Tupé (úkosy \Rightarrow drahé)

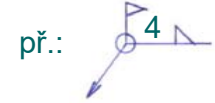


Děrové



Montážní opět vždy s praporkem !!!
Ovaření kolem dokola kroužkem !!!

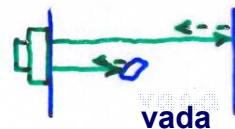
Průvarové



Kontrola svarů

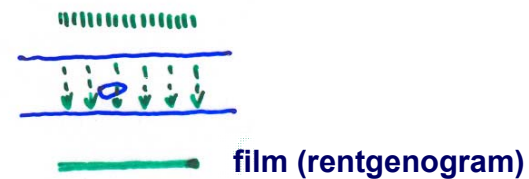
- vizuální
- kapilární (vzlínající kapalina)
- magnetická (používá feromagnetický prášek)
- ultrazvukem

(nevýhoda: pouze na obrazovce monitoru)



- rentgenem

(výhoda: trvalý záznam na film)



- zářiče gama (Co, Tm, Ir, Ce)
- betatrony (urychlovače elektronů)

Návrh svařovaných spojů (ČSN EN 1993-1-8)

Tupé svary - úkosy, drahé

a) Plně provařené: únosnost je rovna základnímu materiálu (\Rightarrow neposuzují se)



- při namáhání **tahem** vždy provařit kořen a kontrolovat jakost (ultrazvukem, rentgenem, γ zářičem)

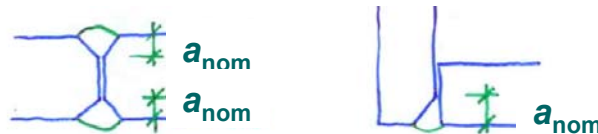
- stupně jakosti podle ČSN EN 25817:

B vysoký (požadován pro EXC3)

C střední (požadován pro EXC2)

D nízký (požadován pro EXC1)

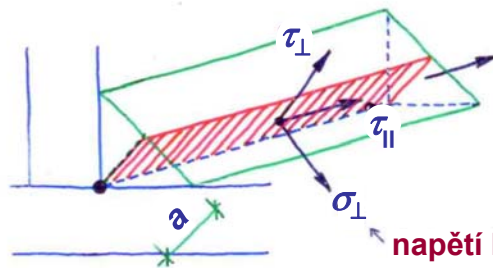
b) Částečně provařené: únosnost se posuzuje jako pro koutové svary (obvykle pro účinný rozměr $a = a_{nom} - 2$ [mm])



Koutové svary

Napjatost ve svaru lze posoudit

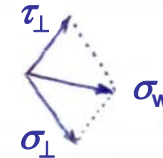
- pružně
- plasticky (splnit: tažnost, rovnováhu, kompatibilitu)



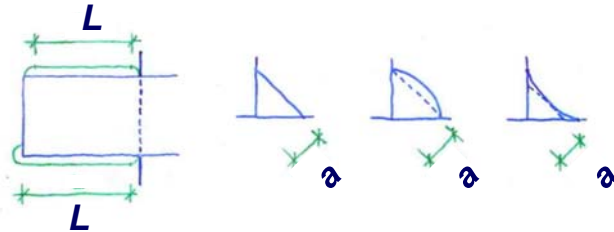
$\sigma_{\parallel} \approx 0$... neboť svar může:

- popraskat
- nebo být přerušovaný

napětí kolmo k linii svaru - lze je složit:



Účinné rozměry svaru:



Minimální rozměry pro nosný svar:

$a \geq 3 \text{ mm}$

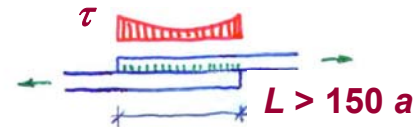
$L \geq 40 \text{ mm}$ (nebo $6a$)

Pozn.: z technologických důvodů (aby svar nebyl „studený“) se doporučuje pro přípoj s tloušťkou t :

$10 \leq t \leq 20 \text{ [mm]}$ svar $a \geq 4 \text{ mm}$,

$t > 20 \text{ mm}$ svar $a \geq 5 \text{ mm}$.

Pro dlouhé svary ($L > 150 a$) je nutné únosnost redukovat součinitelem β_{Lw} (dán v normě)



Únosnost koutových svarů



1. Zjednodušená metoda

(bez ohledu na druh a směr napětí, všechna jako τ_{\parallel})

$$F_{w,Rd} = L a f_{vw,d}$$

plocha svaru

návrhová smyková
pevnost svaru:

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

pro základní materiál

únosnost ve smyku

= 1,25

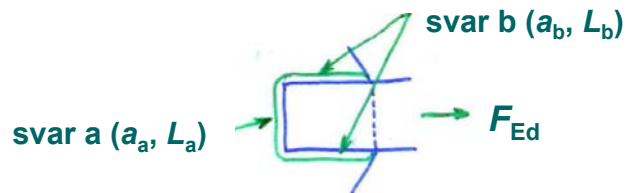
korelační součinitel (svar unese více než zákl. materiál):

S235 ... $\beta = 0,8$

S355 ... $\beta = 0,9$

Příklady:

a) Boční a čelní smykový přípoj

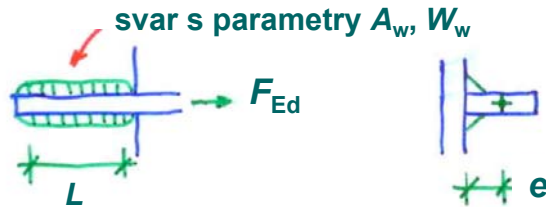


$$F_{Ed} \leq F_{w,Rd} = (L_a a_a + 2L_b a_b) f_{vw,d}$$

NNK – ocelové konstrukce (8)

10

b) Přípoj namáhaný ohybem



- namáhání smykem F_{Ed}
- namáhání momentem $M_{Ed} = F_{Ed} e$

Parametry A_w, W_w pro průřez daný linií svaru šířky a .

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed}}{A_w} = \frac{F_{Ed}}{2La}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_w} = \frac{F_{Ed}e}{2 \frac{1}{6} a L^2}$$

(nebo lze psát: $\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2}$)

Výsledné napětí ve svaru:

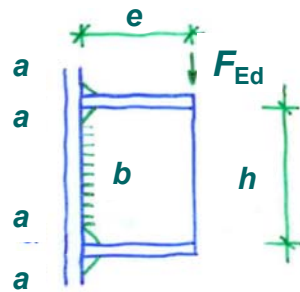
$$\sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \sigma_w^2} \leq f_{vw,d}$$

Pozn.:

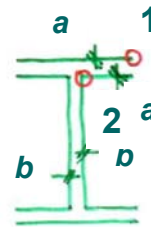
Ve zjednodušené metodě lze též pro jednotnost zápisu psát: $\sigma_w = \tau_{\perp}$
(τ_{\perp} v tom případě představuje všechna napětí kolmá k linii svaru, tj. τ_{\perp} i σ_{\perp}).

Obdobně se řeší svarový přípoj úhelníku (probíráno běžně ve cvičení).

c) Přípoj konzoly (= rámový roh)



idealizace = čára:



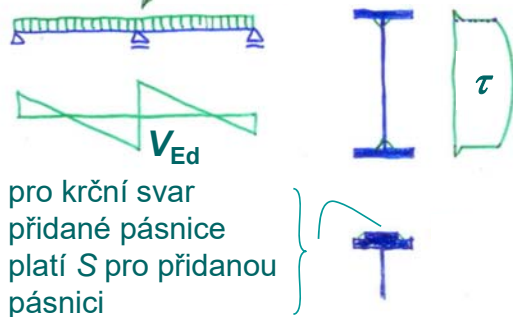
svar a: $\sigma_w = \frac{F_{Ed} e}{W_1} \leq f_{vw,d}$

svar b: $\sigma_w = \frac{F_{Ed} e}{W_2} \leq f_{vw,d} \quad \tau_{II} = \frac{F_{Ed}}{2hb}$

výsledné napětí ve svaru b: $\sqrt{\tau_{II}^2 + \sigma_w^2} \leq f_{vw,d}$

d) Krční svary ohýbaného nosníku

výztuha nad podporou (k vyloučení boulení stojiny a namáhání krčních svarů od reakce)



pro krční svar
přidané pásnice
platí S pro přidanou
pásnici

Napětí v krčním svaru:

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed} S}{2a I} \leq f_{vw,d}$$

statický moment plochy pásnice

účinná tloušťka krčních svarů

moment setrvačnosti průřezu

2. Zpřesněná metoda

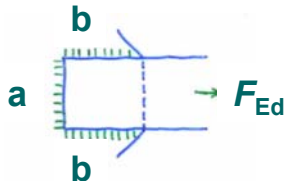
Zohledňuje vyšší únosnost svaru pro normálové napětí σ_{\perp}
(plyne z Misesovy plasticitní podmínky) → dává vyšší únosnost.

Posoudí se:

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

$$ii) \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Ukázka řešení příkladu a), nyní zpřesněnou metodou:



Boční svary b: $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ odtud $\tau_{\parallel} \leq \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{Mw}}$

resp. $F_{w,Rd} = 2L_b a_b f_{vw,d}$

Čelní svar a: $\tau_{\parallel} = 0$ $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2}$

odtud $\sigma_w \leq \frac{f_u / \sqrt{2}}{\beta_w \gamma_{Mw}} = f_{vw,d} \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$

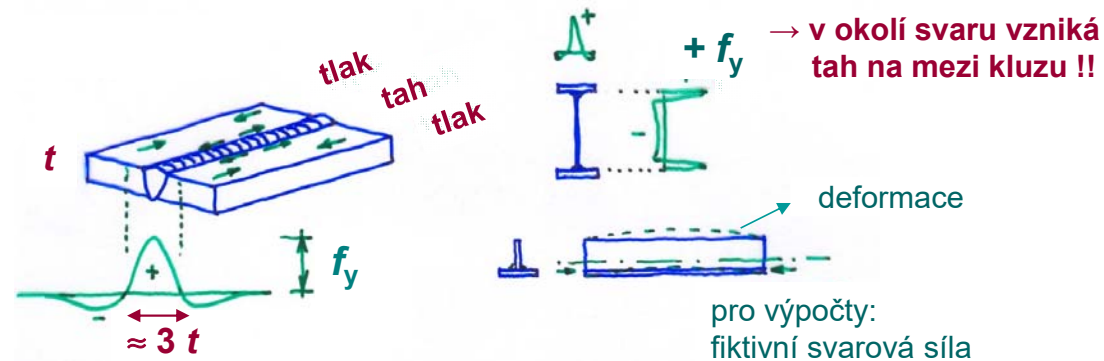
Celkem: $F_{Ed} \leq F_{w,Rd} = (L_a a_a \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} + 2L_b a_b) f_{vw,d} > 1$

NNK – ocelové konstrukce (8)

13

Svarová pnutí a deformace

„reziduální pnutí“ od svařování



Opatření ke zmenšení pnutí:

- "malé" a vícevrstvé svary, → vícevrstvé svary (další housenka vyžihá spodní svar):

- předehřev (cca 200 °C, obvykle nutný při teplotě < 0 °C),

- vhodný postup.



Opatření pro odstranění pnutí:

- žihání při 650 °C (cca 30 min/25 mm tloušťky).

Kombinace spojovacích prostředků pro smyk

Uvažuje se únosnost pouze jednoho druhu spojovacích prostředků !!

Tzn. výsledná únosnost je dána spojením s vyšší únosností.

Např.:

šrouby 100 kN a svary 200 kN ... únosnost 200 kN (šrouby se usmyknou),

šrouby 100 kN a svary 50 kN ... únosnost 100 kN (svary se poruší).

Důvod: různé tuhosti spojení (porušení nastane v jiné fázi).

Výjimka: svary + třecí spoj (únosnosti lze sečíst, tuhost obou spojů je velká, podobná).