

■ Základy úspěšného svařování ocelových konstrukcí z VP ocelí

V současné době se v průmyslu stále více používají oceli s mezí kluzu větší než 400 MPa, které souhrnně označujeme jako vysokopevné (VP) oceli, anglicky označované také jako HSS – High Strength Steel. Setkáváme se s nimi pod různými obchodními názvy jako ARMOX, HARDOX, WELDOX, DOMEX, TOOLOX, STRENX atd.

Vysoké hodnoty meze kluzu jsou u těchto ocelí dosahovány:

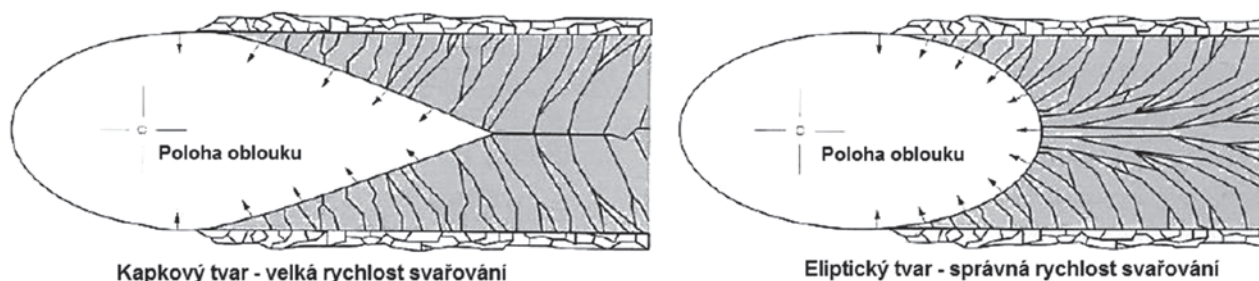
- jemnozrnnou strukturou,
- zpevněním tuhého roztoku prvky C, Mn, Si, Mo, N,
- precipitačním zpevněním karbidy Cr a Mo a karbidy, nitridy nebo karbonitridy Nb, Ti a V,
- dislokačním zpevněním tvářením za studena, případně zušlechtním nebo termomechanickým zpracováním.

Nízké obsahy ekvivalentního uhlíku vzhledem k dosažené hodnotě meze kluzu a vysoká metalurgická čistota garantují jejich svařitelnost. Dolegování niklem zlepšuje především houževnatost ocelí. Precipitáty Nb, Ti, V a Al snižují míru zhrubnutí zrna v TOO svarových spojů. Mn, Cr, Mo, Ni a B dále podporují tvorbu martenzitu v oceli. Jejich použití pro výrobu ocelových konstrukcí umožňuje snížit hmotnost vyráběných konstrukcí a zlepšuje jejich užité vlastnosti. Pro dosažení tohoto cíle je však nutné dodržet metalurgické a technologické požadavky, které jsou popsány v této přednášce. Tyto požadavky jsou přísnější než při svařování běžných nelegovaných konstrukčních ocelí.

METALURGICKÁ ČISTOTA VP OCELÍ

Přítomnost mikrolegujících prvků v oceli mění složení sulfidické fáze. Obvyklá vazba síry na mangan, nebo železo, se neuskutečňuje v plném rozsahu. Kromě sulfidů MnS a FeS mohou být v oceli přítomné i „legované sirníky“ a dále sulfokarbidy, sulfonitridy a oxisulfidy s velmi nízkou teplotou tavení. U jemnozrnných mikrolegovaných VP ocelí by se proto mohla zvýšit náchylnost ke vzniku teplých likvačních trhlin. Toto nebezpečí se při výrobě mikrolegovaných VP ocelí řeší snížením obsahu síry na max. 0,02 hm. % pro normalizačně žíhané oceli a na max. 0,015 hm. % pro zušlechtně a termomechanicky zpracované oceli. Tento požadavek moderní metalurgické postupy umožňují.

Vzhledem k nízkým obsahům S a P ve VP ocelích se obvykle nemusíme obávat vzniku krystalizačních trhlin, které vznikají ve střední části svarové housenky. Jsou způsobeny především segregací nečistot ve střední části svarové housenky, která tuhne jako poslední za spolupůsobení napětí vznikajících smršťováním svarového kovu při jeho krystalizaci. Jejich vznik je ovlivňován i poměrem šířky svarové housenky k její hloubce. Při svařování VP ocelí se požaduje volit svařovací proud, napětí a rychlost svařování tak, aby tento poměr byl ≥ 1 a svarová lázeň měla eliptický tvar, obr. 1. Svarové housenky s konkávním povrchem jsou náchylnější ke krystalizačnímu praskání než svarové housenky s konvexním povrchem.



Obr. 1 – Tvary svarové lázně

Zkřehnutí TOO při svařování vysokopevných mikrolegovaných jemnozrnných ocelí mohou způsobit obsahy Sn, Sb, As a P za spolupůsobení Mn a Si, které segregacním mechanismem vytlačují Sn, Sb, As a P k hranicím zrn. Segregace těchto prvků na hranicích zrn je příčinou mezikrystalové (intergranulární) degradace vlastností hranic zrn a jejich dekoheze.

Orientačně lze náchylnost k mezikrystalové křehkosti posoudit podle vztahu [2, 3]:

$$J = (Mn + Si) \cdot (P + Sn) \cdot 10^4 \quad (1)$$

Obsahy prvků se do rovnice (1) dosazují v hm. %. Faktor J by neměl překročit hodnotu 150 [4]. Vliv dalších prvků Sb a As na mezikrystalickou křehkost vyjadřuje faktor X [2]:

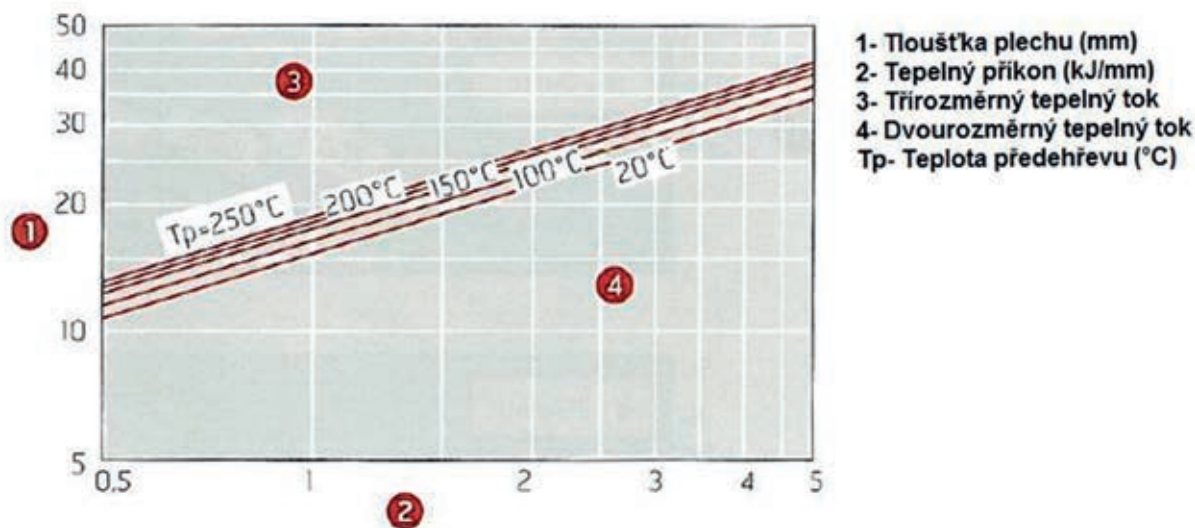
$$X = (10P + 5Sb + 4Sn + As) / 100 \quad (2)$$

Obsahy prvků se do rovnice (2) dosazují v ppm. Faktor X by neměl překročit hodnotu 20 [4].

Dekoheze hranic zrn způsobená P, Sn, Sb a As může být také příčinou zvýšení přechodové teploty mezi houževnatým a křehkým lomem ΔTT . Vliv těchto prvků na zvýšení tranzitní teploty je možné vyjádřit vztahem [2]:

$$\Delta TT = 0,28 \cdot P + 0,38 \cdot Sb + 0,016 \cdot Sn + 0,018 \cdot As - 0,21 \cdot C - 0,020 \cdot B - 0,10 \cdot N \quad (3)$$

Obsahy prvků v rovnici (3) jsou v ppm. Zvýšení tranzitní teploty je nebezpečné zejména u konstrukcí pracujících trvale za snížených teplot. V těchto případech je nutné požadovat v inspekčních certifikátech také uvedení obsahu Sb, Sn, As, B a N.



Obr. 2 – Stanovení počtu odvodů tepla ze svaru [1, 5]

C, B a N přednostně segregují na volná místa na hranicích zrn a tím brání obsazení těchto míst povrchově aktivními prvky jako P, Sb, Sn a As a tím snižují riziko zvýšení přechodové teploty.

HRUBNUTÍ ZRNA V PÁSMU PŘEHŘÁTÍ TOO

Precipitáty Nb, Ti, V a Al vyloučené na hranicích zrn snižují jejich pohyblivost a tím snižují míru zhrubnutí zrna v pásmu přehřátí TOO. Tento mechanismus je však limitován teplotní stabilitou těchto precipitátů v podmínkách svařování. Nitridy vanadu se při svařování rozpuštějí při teplotách nad 1 050 °C, karbidy niobu při teplotách nad 1 250 °C a nitridy titanu při teplotě cca 1 400 °C. Proto i při svařování VP ocelí dochází v pásmu přehřátí TOO k hrubnutí zrna a tím i ke snížení plastických vlastností svarového spoje. Šířka TOO svarového spoje a čas výdrže na vysokých teplotách jsou ovlivňovány především teplotou předehřevu, interpass teplotou a tepelným příkonem do svaru.

Proto s cílem snížit míru zhrubnutí zrna v pásmu přehřátí TOO svařujeme VP oceli pokud možno bez předehřevu nebo s co nejnižším předehřevem, dodržujeme maximální teplotu interpass a limitujeme měrný tepelný příkon do svaru Q . Minimální doporučené teploty předehřevu pro svařování homogenních svarových spojů jemnozrných VP ocelí v závislosti na svařované tloušťce jsou uvedeny v tabulce 1. Při svařování ocelí s různou hodnotou meze kluzu je nutné použít teplotu předehřevu odpovídající oceli s vyšší hodnotou meze kluzu. Při svařování při vysoké relativní vlhkosti vzduchu nebo při svařování upnutých, tuhých svarových spojů, se doporučuje teplotu předehřevu zvýšit o 25 °C. Pro svařování při teplotě okolí nižší než +5 °C a nebo je při orosení svařovaného materiálu v místě svarového spoje nutný předehřev na teplotu +150 °C. Při vícevrstevném svařování se doporučuje teplota interpass T_p +50 °C, max. 200 °C.

Tabulka 1 – Teploty předehřevu při svařování jemnozrných VP ocelí [2]

Jakost základního materiálu	Tloušťka [mm]							
	10	20	30	40	50	60	70	80
S235	20 °C							
S380								
S420								
S460								
S500			100 °C					
S550							150 °C N + Q + M	
S620					M 100 °C			
S690								
S960								
S1100 ¹⁾			125 °C				Nestanoveno	
S1300 ¹⁾							Nestanoveno	

1) Údaje převzaty z [1]
N – normalizačně žíhané oceli
Q – zušlechťené oceli
M – termomechanicky zpracované oceli

VLASTNOSTI TOO SVAROVÝCH SPOJŮ

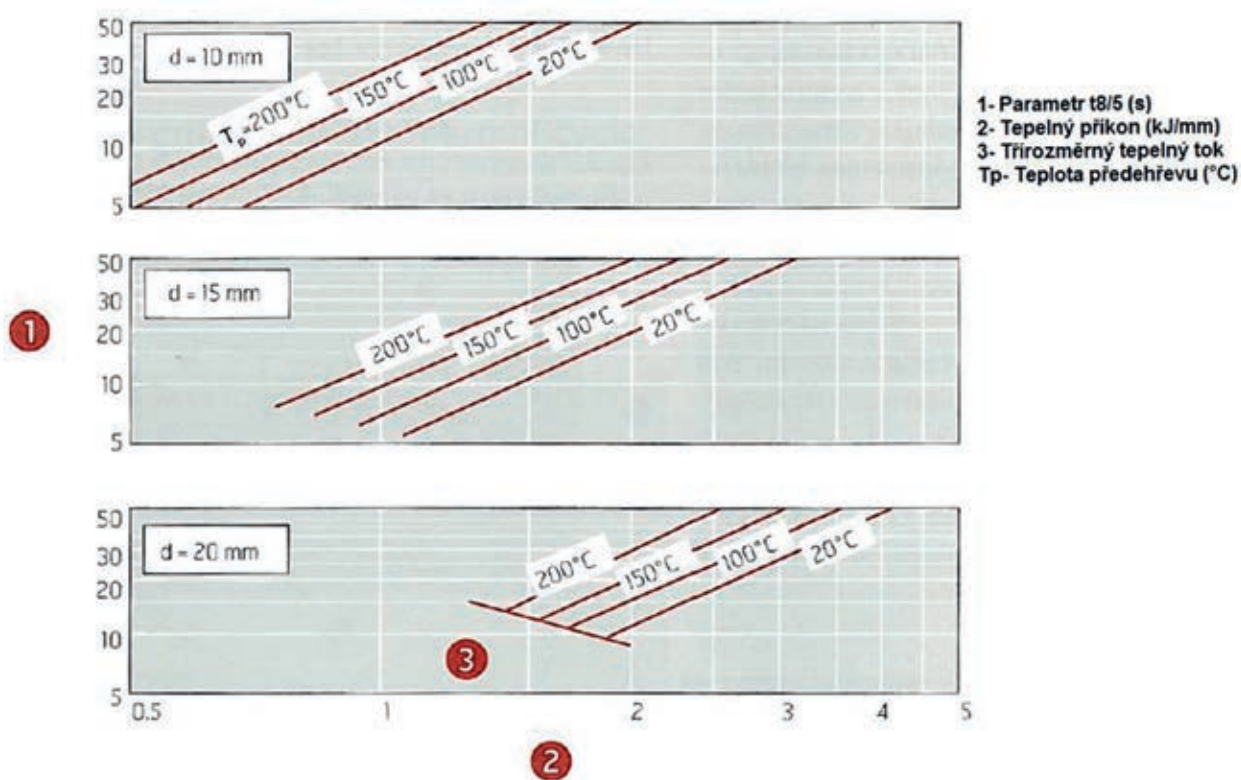
Vlastnosti TOO svarových spojů VP ocelí jsou ovlivňovány teplotou předehřevu, interpass teplotou, tepelným příkonem do svaru a svařovanou tloušťkou základního materiálu. Tyto parametry ovlivňují hodnotu parametru $t_{8/5}$, tedy času za který se dané místo v TOO ochladí z teploty 800 °C na teplotu 500 °C. Se zvyšující se hodnotou parametru $t_{8/5}$ se v TOO:

- Snižují hodnoty HV_{10}
- Snižují hodnoty KV (KCV)
- Tranzitní teplota se zvyšuje

Snížení hodnot KV (KCV) a zvýšení tranzitní teploty je způsobeno stabilizací austenitu při vysokých hodnotách $t_{8/5}$ a jeho následným rozpadem při ochlazování svaru na martenzit nebo spodní bainit.

Pro dosažení hodnoty $KV = 27$ J při -40 °C v TOO svarových spojů VP ocelí je nutné dodržet hodnoty parametru $t_{8/5}$ uvedené v tabulce 2. Pro dosažení hodnoty $KV = 40$ J při -40 °C pak hodnoty uvedené v tabulce 3. Ze známé hodnoty parametru $t_{8/5}$ pro dosažení požadovaných hodnot KV v TOO svarových spojů VP ocelí je možné buď vypočtem, nebo pomocí obrázků 3 a 4 stanovit požadovaný tepelný příkon do svaru Q . Je ale nutné znát zda bude teplo ze svaru odváděno ve dvou nebo ve třech směrech. Pro stanovení počtu odvodů tepla ze svaru je možné použít obrázky 2. U dvourozměrného tepelného toku pak můžeme ze známé požadované hodnoty parametru $t_{8/5}$ stanovit požadovaný tepelný příkon do svaru Q pomocí obrázku č. 3. U trojrozměrného tepelného toku použijeme obrázek 4.

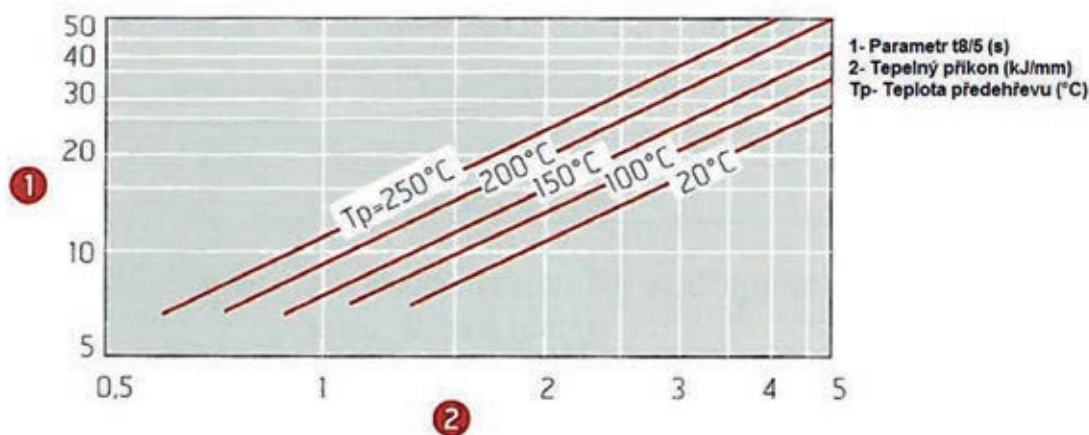
Druhou možností je vypočítat požadovaný tepelný příkon do svaru podle rovnic 4 a 5 [1, 2].



Obr. 3 – Stanovení požadovaného tepelného příkonu do svaru při dvojrozměrném tepelném toku [1]

Tabulka 2 – Hodnoty $t_{8/5}$ pro dosažení $KV = 27$ J při -40 °C [1]	
$R_{p0,2}$ [MPa]	Doporučený interval $t_{8/5}$ (s)
$R_{p0,2} \leq 700$ MPa	5 – 25
$700 < R_{p0,2} \leq 900$ MPa	5 – 20
$900 < R_{p0,2} \leq 1\ 300$ MPa	5 – 15

Tabulka 3 – Hodnoty $t_{8/5}$ pro dosažení $KV = 40$ J při -40 °C [1]	
$R_{p0,2}$ [MPa]	Doporučený interval $t_{8/5}$ (s)
$700 < R_{p0,2} \leq 900$ MPa	5 – 15
$900 < R_{p0,2} \leq 960$ MPa	5 – 15
$960 < R_{p0,2} \leq 1\ 030$ MPa	5 – 10
$1\ 030 < R_{p0,2} \leq 1\ 100$ MPa	5 – 10
$1\ 100 < R_{p0,2} \leq 1\ 300$ MPa	5 – 10



Obr. 4 – Stanovení požadovaného tepelného příkonu do svaru při trojrozměrném tepelném toku [1, 5]

Dvourozměrný tepelný tok:

$$Q = \sqrt{\frac{t_{8/5} \cdot d^2}{\left[\left(\frac{1}{500-T_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{800-T_0}\right)^2\right] \cdot F_2 \cdot (4300 - 4,3 \cdot T_0) \cdot 10^5}} \quad (4)$$



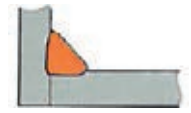
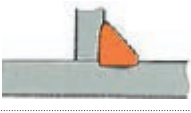
Pro trojrozměrný tepelný tok:

$$Q = \frac{t_{8/5}}{\left(\frac{1}{500-T_0} - \frac{1}{800-T_0}\right) \cdot F_3 \cdot (6700 - 5 \cdot T_0)} \quad (5)$$

kde:

- $t_{8/5}$ Parametr $t_{8/5}$ (s)
- d Tloušťka plechu (mm)
- Q Tepelný příkon (kJ/mm)
- T_0 Počáteční teplota svařovaného materiálu (°C)
- F_2 Tvarový faktor
- F_3 Tvarový faktor

Hodnoty tvarového faktoru F_2 pro dvourozměrný tepelný tok a trojrozměrný tepelný tok se volí podle tabulky 4. Ze známé doporučené hodnoty tepelného příkonu Q se z rovnice pro jeho výpočet uvedené v normě ČSN EN 1011-1 pro obloukové metody svařování stanoví požadované parametry svařování.

Tabulka 4 - Hodnoty tvarových faktorů [1, 5]			
Tvar svaru		Tvarový faktor	
		Dvojrozměrný tepelný tok	Trojrozměrný tepelný tok
Návar		1	1
Tupý svar		0,9	0,9
Koutový svar v rohovém spoji		0,9 - 0,67	0,67
Koutový svar v T spoji		0,45 - 0,67	0,67

STUDENÉ VODÍKEM INDUKOVANÉ TRHLINY

Také na svarových spojích VP ocelí mohou, jsou-li splněny následující podmínky vznikat při ochlazování svarů při teplotách pod cca 200 °C studené vodíkem indukované trhliny:

- Vysoký obsah difuzního vodíku ve svarovém spoji
- Struktura citlivá na účinek difuzního vodíku
- Velká tahová zbytková napětí ve svarovém spoji

Zdrojem vodíku ve svaru je nejčastěji atmosférická vlhkost, vlhkost z obalu elektrod, případně tavidel, svařovací dráty po povrchové úpravě, korozní produkty, barvy a mazadla na svarových plochách. Rozpustnost a rozložení vodíku ve svarovém kovu závisí na teplotě, koncentraci a typu vměstků, mikropórů a dislokací, makropórů a rychlosti ochlazování. Rozpustnost vodíku v oceli v závislosti na teplotě znázorňuje obr. 5. S klesající teplotou se rozpustnost vodíku v oceli výrazně snižuje. Celkový obsah vodíku ve svarovém kovu je součtem obsahu difuzního vodíku H_0 (vodík schopný difuze) a zbytkového vodíku. Na vznik studených trhlin má vliv obsah difuzního vodíku, který je při teplotách nad 200 °C rozpuštěn v oceli nebo svarovém kovu v disociovaném stavu. Při teplotách pod 200 °C dochází k rekombinaci vodíku podle rovnice:



Tato reakce je doprovázena vznikem velkých tlaků v místech, kde k rekombinaci vodíku dochází tj. v okolí vměstků, mikropórů, dislokací, makropórů a dalších poruch krystalické mřížky. Tlaky vznikající při rekombinaci vodíku dosahují hodnot na úrovni 0,6 mil. MPa [3]. Napětí vyvolané těmito tlaky je dostatečné ke vzniku studených trhlin ve svarových spojích. Snižování obsahu vodíku v závislosti na poklesu teploty je difuzní proces, proto vyžaduje určitý čas. Obsah vodíku v TOO svarového spoje se proto může zvýšit i po ukončení svařovacího procesu (zbrzděné lomy). Z tohoto důvodu se doporučuje provádět NDT kontroly svarových spojů po cca 48 hodinách po ukončení svařování.

Nejcitlivější mikrostruktura na vznik studených trhlin je struktura martenzitická a struktura dolního bainitu. Méně citlivá je struktura horního bainitu a nejméně citlivé jsou struktury feritické, bainiticko feritické nebo austenitické. Souvisí to s rychlostí difuze vodíku v jednotlivých typech mikrostruktury. Rychlost difuze vodíku v martenzitu je nejnižší ze všech mikrostruktur ocelí. Proto i menší obsah difuzního vodíku vyvolá v martenzitické mikrostrukturu vznik studených trhlin.

Pro snížení rizika vzniku studených trhlin při svařování VP ocelí je nutné dodržovat následující zásady:

- Svarové plochy a jejich okolí musí být suché, kovově čisté a odmaštěné
- Svařovat elektrodami a tavidly vysušenými podle předpisu výrobce
- Používat přídavné materiály s garantovaným obsahem $H_0 \leq 5 \text{ ml}/100 \text{ g}$ svarového kovu
- Pro ochranu polotovarů před korozí používat pouze speciální odzkoušené základní nátěry
- Svařovat s předehevem na teploty minimálně podle tabulky č. 1 a dodržovat teplotu interpass
- Minimalizovat zbytková napětí ve svarovém spoji
- Pokud to namáhání svarového spoje dovolí, použít austenitický přídavný materiál typu AWS 307

Předeheř svarových spojů:

- Snižuje rychlost ochlazování svaru a tím zabraňuje zakalení TOO svarového spoje a svarového kovu.
- Umožňuje vznik struktur příznivějších z hlediska difuze vodíku.
- Prodlužuje čas, po který může vodík difundovat ze svarového spoje.
- Snižuje teplotní gradienty ve svaru a tím přispívá ke snížení zbytkových napětí vyvolaných svařováním.

Teplotu interpass je nutné dodržovat zejména u termomechanicky zpracovaných VP ocelí. Při vyšších teplotách interpass:

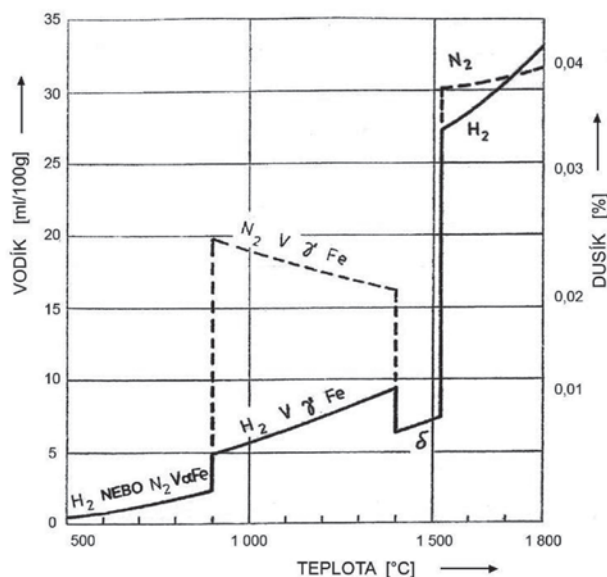
- Se sníží hodnota R_m a $R_{p0,2}$ v TOO svarového spoje.
- Při svařování velkých tloušťek může dojít ke stabilizaci zbytkového austenitu ve svarovém kovu (Přídavné materiály s vyšším obsahem austenitotvorných prvků – Ni, Mn, C, N).

Zbytkový austenit transformuje zpožděně za teplot okolí na martenzit, který má větší objem než austenit, ze kterého vznikl. Tím se zvyšuje se nebezpečí tvorby trhlin ve svarových spojích. Proto se v těchto případech doporučuje dohřev na teplotě T_1 po dobu min. 1 hodiny. Během dohřevu dochází k rozpadu austenitu na martenzit a v prvním stadiu jeho popouštění se tvoří popouštěný nízkouhlíkový martenzit a ϵ -karbid $Fe_{2,3}C$. Dohřev svarových spojů je také výhodný před popouštěním svarových spojů zušlechťených ocelí.

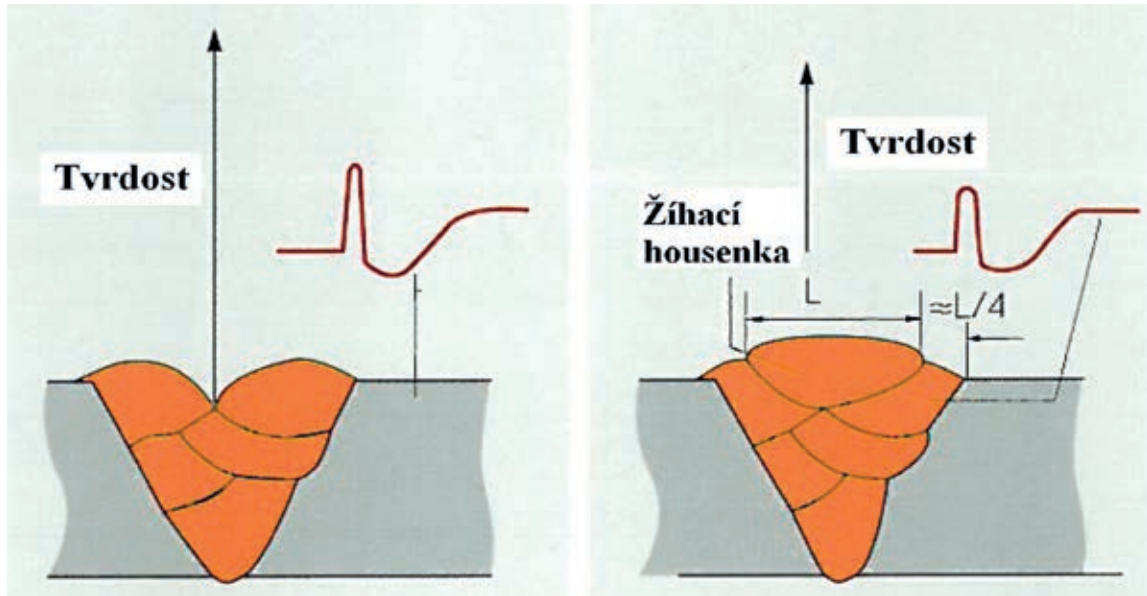
TECHNOLOGICKÉ ZÁSADY PRO SVAŘOVÁNÍ KONSTRUKCÍ Z VP OCELÍ

Pro snazší dosažení požadovaného tepelného příkonu do svaru se doporučuje svařovat menšími průměry přídavných materiálů, menšími proudy a větší rychlostí svařování. Svařence se stehují stehy o minimální délce rovné čtyřnásobku stehované tloušťky, minimálně však 50 mm. Doporučuje se používat „kaskádové“ (dvojrvtvé) stehy. Důvodem je vyžihání TOO stehů a snížení obsahu difuzního vodíku. Pro stehování je možné použít přídavné materiály s nižšími hodnotami R_m a $R_{p0,2}$, ale s vyššími hodnotami A_5 , KV a Z.

Pro svařování kořene vícevrstev svarů a následné vrstvy je možné použít přídavný materiál s nižšími hodnotami R_m a $R_{p0,2}$ než pro výplň svarového spoje. Velké tloušťky svařovaných materiálů se doporučuje svařovat metodou dílčího polštářování svarových ploch. Důvo-



Obr. 5 – Část diagramu rozpustnosti dusíku a vodíku v železe [4]



Obr. 6 – Technika žihací housenky [1]

dem je popuštění T00 v základním materiálu svarovými housenkami výplně svarového spoje již v průběhu svařování. Pro snížení tvrdosti v T00 svarového spoje se doporučuje využívat techniky „žihacích“ housenek, obr. 6, které vyžijí martenzit nebo bainit v T00 a tím sníží maximální tvrdost v T00.

Minimální doporučený počet vrstev svarového kovu p_{min} při vícevrstevném svařování je dán vztahem [2]:

$$\text{Doporučený počet vrstev } P_{min} = (2 \cdot s) / 5,$$

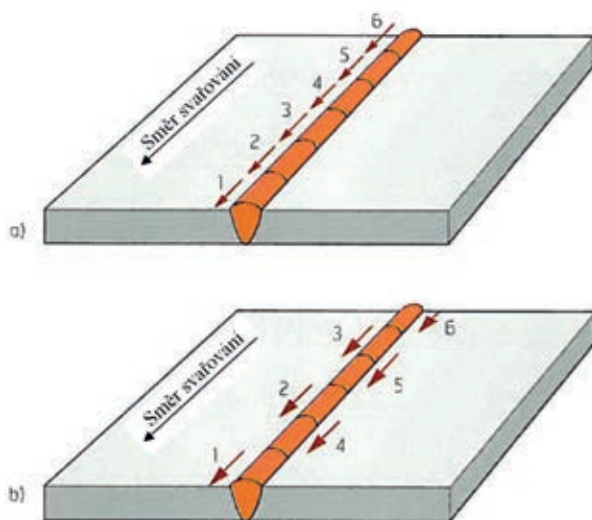
kde:

s svařovaná tloušťka (mm).

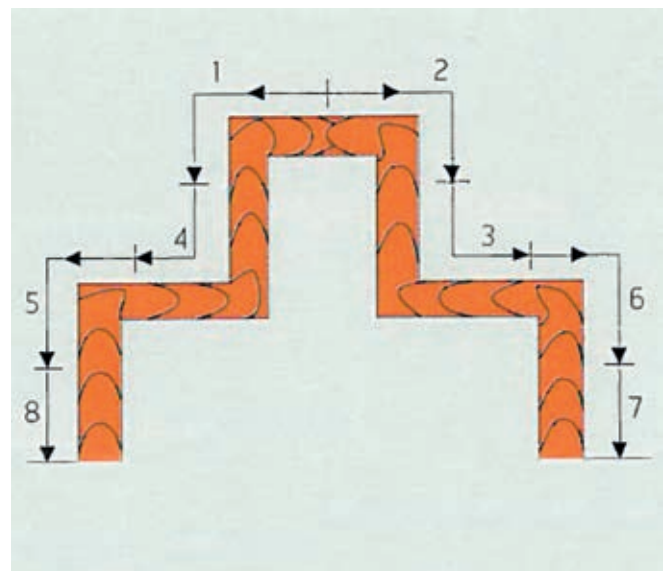
Pro minimalizaci zbytkových napětí ve svarech se doporučuje:

- Nezvyšovat bezdůvodně tuhost svarového spoje
- Nepoužívat přídatné materiály se zbytečně vysokou mezí kluzu
- Mezera v kořeni tupých svarů a svarů tvaru T smí být maximálně 3 mm
- Pokud možno zahajovat svařování ve vzdálenosti 50 – 100 mm od začátku svaru
- Při svařování vícevrstevných svarů použít pro kořen a první svarové housenky přídatné materiály s nižší mezí kluzu.

Pro snížení deformací svarových spojů se kromě tuhého upnutí svařovaných dílů, které není vždy možné, doporučuje používat zvláštní způsoby kladení svarových housenek podle obr. 7 a 8.



Obr. 7 – Vratný krok – a); Střídatý vratný krok – b)



Obr. 8 – Kladení housenek pro zmenšení deformací [1]

Pro snížení koncentrace napětí na přechodu svar-základní materiál a tím pro zvýšení odolnosti proti únavovému porušení svarových spojů se doporučuje přetavení přechodu metodou TIG, nebo přebroušení přechodu stopkovou bruskou.

Rovnění konstrukcí plamenem se při svařování VP ocelí obvykle nepoužívá. Pokud by ho chtěl výrobce použít pro rovnání konstrukcí z VP ocelí s $R_{p0,2}$ v rozsahu 420 – 960 MPa musí vždy postup rovnání zpracovaný podle požadavků normy ČSN EN 1090-2 konzultovat s výrobcem základního materiálu. Rovnění konstrukcí plamenem z VP ocelí s mezí kluzu 1 000 MPa a více se nedoporučuje.

PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

Pro svařování VP ocelí se používají v závislosti na hodnotě meze kluzu svařovaného základního materiálu nelegované nebo nízkolegované přídatné materiály, které garantují obsah difuzního vodíku do 5 ml/100 g ve svarovém kovu. Pro svařování VP ocelí s mezí kluzu 960 MPa a více je nutné použít přídatné materiály s mezí kluzu 930 MPa. Přídatné materiály s větší mezí kluzu zatím nejsou na trhu k dispozici. Pokud to namáhání svarového spoje dovolí, je možné pro svařování VP ocelí použít austenitické přídatné materiály typu AWS 307. Austenitický svarový kov díky vysoké rozpustnosti vodíku v austenitu minimalizuje riziko vzniku studených trhlin, podstatně zvyšuje vrubovou houževnatost svarového kovu a vysoký obsah manganu minimalizuje riziko vzniku teplejších trhlin ve svarovém kovu.

Pro svařování metodou 111 se používají bazické elektrody vysušené před použitím podle předpisu výrobce. Po vysušení je udržujeme na teplotě 150 až 200 °C. Pro svařování metodami 135, 136 a 138 používáme plné dráty nebo plněné bazické a rutilové elektrody, nebo plněné elektrody s kovovým práškem o průměrech 0,8, 1,0 a 1,2 mm. Pro svařování metodou 121 se zejména pro svařování termomechanicky zpracovaných ocelí z důvodu malého tepelného ovlivnění T00 používají dráty průměrů 2,0 a 2,5 mm v kombinaci přednostně s bazickými aglomerovanými tavidly. Pro svařování metodou 141 se používají plné dráty o průměru 1,6, 2,0, 2,4 a 3,2 mm. Pro svařování metodami 135, 136 a 138 se používají ochranné plyny podle tabulky 5.

Metoda svařování	Typ oblouku	Ochranný plyn (hm.%)
135 138	Zkratový	Ar + 15–25 % CO ₂
135 138	Sprchový	Ar + 8–25 % CO ₂
136	Zkratový	Ar + 15–25 % CO ₂ nebo čisté CO ₂
136	Sprchový	Ar + 8–25 % CO ₂ nebo čisté CO ₂
141	–	čistý argon

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ SVAROVÝCH SPOJŮ (PWHT)

Všechny svarové spoje z VP ocelí se nemusí po svařování tepelně zpracovat. Pouze svarové spoje větších tloušťek se po svařování mohou žíhat na snížení zbytkových napětí po svařování. Žíhání je možné provádět i místně.

Normalizačně žíhané oceli se po svaření žíhají při teplotách 530 až 580 °C. Zušlechtné oceli při teplotě 530 °C. Termomechanicky zpracované vysokopevné oceli při teplotě max. 350 °C a oceli s $R_e \leq 460$ MPa na teplotě max. 400 °C.

Doporučená rychlost ohřevu na žíhací teplotu je max. 100 °C/h. Doporučená výdrž na žíhací teplotě 1–2 min/1 mm žíhané tloušťky, nejméně však 20 minut. Doporučená rychlost ochlazování z žíhací teploty je max. 100 °C/h do 200 °C.

Žíháním na snížení zbytkových napětí se sice tato napětí snižují, snižuje se tvrdost v T00 svarových spojů, zlepšují se únavové vlastnosti svarových spojů a snižuje se riziko korozního praskání svarových spojů, ale žíhání způsobí snížení mechanických vlastností v T00 svarových spojů a v základním materiálu. Proto je nutné při návrhu PWHT svarových spojů respektovat doporučení výrobce základního materiálu. Svarové spoje VP ocelí s mezí kluzu 1 000 MPa a více se obvykle nedoporučují tepelně zpracovávat po svaření.

*prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc.,
Ing. Martin Sondel, Ph.D.,
doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.,
Český svářečský ústav s. r. o.*

Materiál byl prezentován na semináři Nové materiály a technologie pro svařování 2017.

LITERATURA:

- [1] *Welding Handbook, firemní literatura firmy SSAB, ISBN 978-91-978573-0-7*
- [2] *Pilous V., a kol.: Vysokopevné mikrolegované jemnozrnné oceli a jejich svařitelnost, Vodní stavby, a. s. – Strojní dílny Plzeň, 1999*
- [3] *Hrivňák I.: Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava, Veda vydavateľství Slovenskej akadémie vied, 1989, ISBN 80-224-0016-5*
- [4] *Koukal J a kol.: Materiály a jejich svařitelnost, Ostrava: Skripta. Český svářečský ústav s. r. o., 2009, ISBN 978-80-248-2025-5*
- [5] *ČSN EN 1011-2*

The Basics of the Successful Welding of Steel Structures from High Strength Steel

Nowadays, the industry more and more often uses steel with yield strength exceeding 400 MPa, which we call High Strength Steel – HSS. We come across it under various trade names, e.g. ARMOX, HARDOX, WELDOX, DOMEK, TOOLOX, STRENX, etc.