



Spolufinancováno  
z programu Evropské unie  
Erasmus+



Erasmus+

# MODUL A

## Úvod do problematiky svařování kovů

Rafinace svarového kovu



## Rafinace svarového kovu

- Jedná se o snížení obsahu nečistot ve svarovém kovu.
- Největší nečistoty jsou fosfor a síra. Oba prvky zhoršují vlastnosti svarového kovu.
- Síra je příčinou vzniku teplých krystalizačních i likvačních trhlin ve svarovém kovu a je hlavní příčinou vzniku lamelárních trhlin ve svarových spojích.



## Rafinace svarového kovu

- ▶ Fosfor zvyšuje formou nízkotavitelných eutektik náchylnost k tvorbě likvačních trhlin a je příčinou zkřehnutí za studena.
- ▶ Podstatně větší snížení obsahu fosforu ve svarovém kovu umožňují jen bazické strusky.
- ▶ Snížení obsahu síry a fosforu ve svarových kovech natavených z bazických přídavných materiálů je příčinou jejich vysokých plastických vlastností, zejména za nízkých teplot.



# Absorpce plynu ve svarech

- ▶ Při svařování svarový kov absorbuje plyny, zejména kyslík, dusík a vodík.
- ▶ Absorpce plynů ve svarovém kovu
  - ▶ Při tavných svařovacích procesech může svarový kov absorbovat některé plyny. Jsou to především kyslík, dusík a vodík.
  - ▶ Zdrojem těchto plynů může být okolní atmosféra, zplodiny procesu hoření topných plynů, zplodiny rozkladu obalů elektrod a tavidel, nečistoty v ochranné atmosféře, rez, barvy, mazadla apod.
  - ▶ Tyto plyny mohou být příčinou pórovitosti svarů, změn mechanických vlastností svarového kovu nebo příčinou praskavosti svarů.

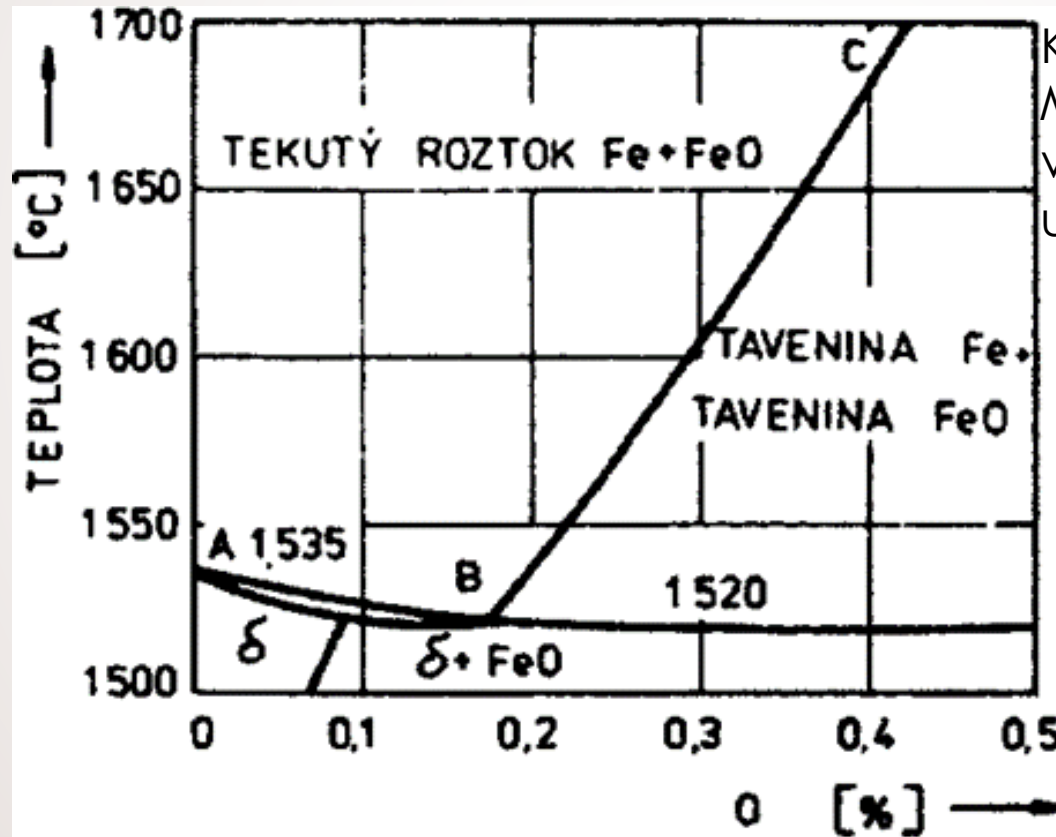


## Absorpce kyslíku

- Kyslík se v oceli rozpouští ve formě  $\text{FeO}$ .
- V tuhém stavu je rozpustnost kyslíku v železe nepatrná.
- Je však značná ve stavu tekutém. Při eutektické teplotě  $1520\text{ °C}$  je cca  $0,18\%$ .



# Rovnovážný diagram Fe-FeO v oblasti teplot tavení



KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. s. 49.





## Absorpce kyslíku

- ▶ Při svařování je rozpustnost kyslíku v železe dána především danou technologií svařování.
- ▶ Při svařování kyslíko-acetylenovým neutrálním plamenem je řádově 0,03 % až 0,05 % při středním obsahu 0,20 % FeO, což odpovídá nasycení čistého železa kyslíkem při 900 °C.
- ▶ Při svařování elektrickým obloukem je obsah kyslíku ovlivňován především druhem a tloušťkou obalu, intenzitou použitého proudu a délkou oblouku.
- ▶ U kyselých a rutilových obalů kolísá obsah kyslíku ve svarovém kovu mezi 0,05 % až 0,1 %.
- ▶ U zásaditých obaluje obsah kyslíku ve svarovém kovu nižší než 0,05 %.



## Absorpce kyslíku

- ▶ Kyslík působí na mechanické vlastnosti podle toho, je-li v oceli rozpuštěn, nebo je-li obsažen v oceli ve formě vměstků.
- ▶ V rozpuštěném stavu působí kyslík na mechanické vlastnosti bezprostředně.
- ▶ S rostoucím obsahem kyslíku klesá pevnost a tvrdost svarového kovu.
- ▶ Tažnost se mění velmi málo. Vrubová houževnatost silně klesá.
- ▶ Je-li kyslík obsažen ve svarovém kovu ve formě vměstků (oxidů) snižuje soudržnost svarového spoje.
- ▶ Obsah kyslíku ve svarovém kovu můžeme snížit tím, že do svarového kovu dolegujeme prvky s velkou afinitou ke kyslíku, tak zvané dezoxidační prvky. Jsou to především Si, Mn, Al a Ti.





## Absorpce vodíku

- ▶ Vodík podobně jako kyslík je ocelmi absorbován (pohlčován) během svařování.
- ▶ Jeho zdrojem může být okolní atmosféra, nebo mnohem častěji vlhkost z obalů elektrod nebo tavidla.
- ▶ Nebezpečí absorpce vodíku ve svarovém kovu je tím větší, čím více obal elektrody nebo tavidlo absorbuje vodu z okolní atmosféry, je hygroskopické.
- ▶ Proto je nutné obalené elektrody a tavidla před svařováním sušit.
- ▶ Pro dokonalé vysušení bazických elektrod je výrobcem doporučen režim 100 °C/1h + 300 °C – 350 °C/2h.



# Absorpce vodíku

- ▶ Rutilové a kyselé elektrody se suší při nižších teplotách, aby nedošlo k rozkladu složek obalu už při sušení.
- ▶ Po vysušení je nutné udržovat elektrody před použitím na určité teplotě, nebo je spotřebovat do určité doby, obvykle 4 hodiny.
- ▶ Předepsaná udržovací teplota je v různých předpisech uváděna v rozmezí 80 °C až 100 °C.
- ▶ Tavidla se suší podle typu v rozsahu teplot 200 °C až 800 °C.
- ▶ Výrobce přídavného materiálu je povinen na obalu přídavného materiálu nebo jinou formou předepsat požadovaný režim jeho sušení.



## Absorpce vodíku

- Zdrojem vodíku ve svarovém kovu mohou být dále mastnoty, zbytky organických hmot nebo korozní produkty na svarových plochách.
- V případě zbytku kondenzované vody v tlakové láhvi, může být zdrojem vodíku i ochranný plyn.



Vodík může být obsažen ve dvou formách:

- ▶ v molekulárním stavu ( $H_2$ ) jako plynové vměstky na hranicích zrn, nebo v poruchách mřížky (často pod vysokým tlakem), nebo také v bublinách ve formě  $CH_4$  a  $H_2O$ ,
- ▶ jako vodíkový iont  $H^+$  (proton) intersticiálně rozpuštěný v mřížce železa.



# Absorpce vodíku

- ▶ Charakteristickou vlastností vodíkového iontu  $H^+$  je jeho snadná difúze mřížkou železa, dokonce při normální teplotě.
- ▶ Rozpustnost vodíku v železe se podle normy ČSN EN ISO 3690 udává nejčastěji v ml 100 g<sup>-1</sup> svarového kovu.
- ▶ V železe alfa může být rozpuštěno max. 5 ml 100 g<sup>-1</sup> vodíku, v železe gama max. 8 ml 100 g<sup>-1</sup> vodíku.
- ▶ V přehřátém svarovém kovu při teplotě 1800 °C až 33 ml 100 g<sup>-1</sup>.
- ▶ Rozdíl rozpustnosti vodíku ve svarovém kovu a ve ztuhlém svaru je značný a z tohoto rozdílu vyplývají problémy při svařování feritických ocelí, které způsobuje vodík schopný difúze.
- ▶ Podle obsahu vodíku schopného difúze ve svaru stanovujeme stupně obsahu vodíku.



# Stupně obsahu vodíku

Obsah difuzního vodíku (ml/100g svarového kovu)			Stupně obsahu vodíku
	>	15	A
10	<	15	B
5	<	10	C
3	<	5	D
	<	3	E





# Absorpce vodíku

- ▶ U bazických elektrod pro ruční obloukové svařování je možné použít stupně B až D podle specifikace výrobce elektrody.
- ▶ U rutilových nebo celulózových elektrod má být použit stupeň A. U plněných elektrod s tavidlovou nebo kovovou náplní je možné použít stupeň B až D podle zařazení výrobce.
- ▶ Kombinace drátu a tavidla pro svařování pod tavidlem se mohou zařadit do stupňů B až D, ale nejtypičtější je stupeň C.
- ▶ Stupeň obsahu vodíku se musí stanovit pro každou kombinaci drátu a tavidla.
- ▶ U přídatných materiálů pro svařování v ochranných atmosférách se nejčastěji používá stupeň D.
- ▶ Zařazení těchto přídatných materiálů, ale také některých plněných elektrod a bazických obalených elektrod do stupně E vyžaduje provedení zvláštního ohodnocení (měření).
- ▶ Pro svařování plasmou má být provedeno zvláštní ohodnocení.



# Absorpce vodíku

- ▶ Vodík schopný difúze je příčinou vzniku pórů ve svarech, způsobuje zvláštní vadu zvanou „rybí oka“ (fish eyes) a je základní příčinou vzniku studených vodíkem indukovaných trhlin ve svarech.
- ▶ Při tuhnutí svaru prudce klesá rozpustnost vodíku.
- ▶ Vodík, který přesahuje mez rozpustnosti při dané teplotě je vytlačen z mřížky železa, shromažďuje se na volných površích (chyby struktury) a rekombinuje na vodík molekulární  $H_2$  za současného zvýšení objemu.
- ▶ Tímto mechanismem vznikají póry ve svarovém kovu „rybí oka“, vznikají ve svarech při vysokých obsazích vodíku schopného difúze při pomalém pozvolném zatěžování svařované konstrukce nad mez pružnosti.
- ▶ Nejsou proto zjistitelné ve svarech metodami nedestruktivní kontroly bezprostředně po svaření.
- ▶ Rybí oka nemají nepříznivý vliv na mechanické vlastnosti svarových spojů v oblasti namáhání svařovaných konstrukcí pod mezí pružnosti.



## Absorpce vodíku

- Rybí oka můžeme pozorovat na lomech svarů jako bílé, vodíkem indukované trhliny kruhového tvaru o rozměrech od 1 mm do 10 mm.
- Nejčastěji vznikají ve svarech v okolí vměstků, kde je zvýšená koncentrace míst pro rekombinaci vodíku.
- Vměstky mají na lomových plochách zpravidla tmavou barvu, která kontrastuje s bílou plochou kruhové trhliny.
- Celek vyvolává dojem rybího oka.



# Absorpce vodíku

- ▶ Nejnebezpečnější vadou, kterou vodík způsobuje ve svarových spojích, jsou studené, vodíkem indukované trhliny nazývané někdy také „zbrzděné lomy“.
- ▶ Tento název vyjadřuje skutečnost, že ke vzniku studené vodíkem indukované trhliny může dojít i za několik hodin, případně dnů po svaření.
- ▶ Příčinou vzniku trhlín jsou objemové změny při rekombinaci vodíku, které vyvolají velké místní zvýšení tlaku a napětí v místech, kde k rekombinaci vodíku dochází.
- ▶ Součet napětí vyvolaných rekombinací vodíku a napětí vyvolaných svařovacím procesem může být dostatečný ke vzniku studené trhliny.



Vzniku vad ve svarových spojích způsobených vodíkem můžeme zbránit následujícími opatřeními, která obvykle navzájem kombinujeme:

- a) používáním přídavných materiálů s nízkým obsahem difuzního vodíku,
- b) dokonalou ochranou svarového kovu před působením okolní atmosféry,
- c) předehřevem svarových spojů,
- d) používáním větších průměrů přídavných materiálů a vysokých hodnot intenzity svařovacího proudu,
- e) dohřevem svarových spojů,
- f) tepelným zpracováním pod teplotou  $A_c1$ .





## Absorpce dusíku

- ▶ Do svarového kovu se dusík dostává zejména z okolní atmosféry při nedostatečné ochraně svarové lázně.
- ▶ Ta může být způsobena příliš velkou vzdáleností hořáku od tavné lázně, velkou délkou elektrického oblouku, malým množstvím ochranného plynu, turbulencemi ochranného plynu v plynové hubici, atd.
- ▶ Také rozpustnost dusíku v železe je závislá na teplotě.
- ▶ Tekuté železo může při teplotě 1800 °C v rovnovážném stavu absorbovat až 0,04 % dusíku.
- ▶ Při transformacích železa rozpustnost dusíku v železe skokově roste.
- ▶ V oblasti austenitu rozpustnost dusíku v železe na rozdíl od vodíku s rostoucí teplotou klesá.





# Absorpce dusíku

- ▶ Při teplotě okolí je rozpustnost dusíku v železe cca 0,001 %.
- ▶ Svary provedené neutrálním kyslíko-acetylenovým plamenem obsahují obvykle do 0,02 % dusíku.
- ▶ Svary provedené kyselými a rutilovými elektrodami obsahují cca 0,03 % až 0,04 % dusíku.
- ▶ Svary provedené bazickými elektrodami cca 0,02 % dusíku.
- ▶ Při použití tavených tavidel při svařování technologií 121 můžeme očekávat obsah dusíku v rozmezí cca 0,002 % až 0,003 %.
- ▶ Ve svarech provedených spékanými a keramickými tavidly 0,003 % až 0,007 %.



## Absorpce dusíku

- S rostoucím obsahem dusíku ve svarovém kovu se zvyšují hodnoty  $R_e$ ,  $R_m$  a HV10.
- Mírně klesá tažnost svarového kovu a prudce se snižují hodnoty nárazové práce a vrubové houževnatosti svarového kovu.
- Také ve svarovém kovu mohou nitridy železa precipitující z přesyceného tuhého roztoku vyvolat jev, kterému říkáme „stárnutí oceli“.