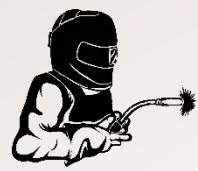




Spolufinancované z
programu Európskej únie
Erasmus+



Erasmus+

MODUL A

Úvod do problematiky zvárania kovov

Rafinácia zvarového kovu



Rafinácia zvarového kovu

- Jedná sa o zníženie obsahu nečistôt vo zvarovom kove.
- Najväčšie nečistoty sú fosfor a síra. Oba prvky zhoršujú vlastnosti zvarového kovu.
- Síra je príčinou vzniku teplých kryštalizačných i likvačných trhlín vo zvarovom kove a je hlavnou príčinou vzniku lamelárnych trhlín vo zvarových spojoch.



Rafinácia zvarového kovu

- ▶ Fosfor zvyšuje formou nízkotavitelných eutektík náchylnosť k tvorbe likvačných trhlín a je príčinou skrehnutia za studena.
- ▶ Podstatne väčšie zníženie obsahu fosforu vo zvarovom kove umožňujú len bázické trosky.
- ▶ Zníženie obsahu síry a fosforu vo zvarových kovoch natavených z bázických prídavných materiálov je príčinou ich vysokých plastických vlastností, najmä pri nízkych teplotách.



Absorpcia plynu vo zvaroch

- ▶ Pri zváraní zvarový kov absorbuje plyny, najmä kyslík, dusík a vodík.
- ▶ Absorpcie plynov vo zvarovom kove
 - ▶ Pri tavných zváracích procesoch môže zvarový kov absorbovať niektoré plyny. Sú to predovšetkým kyslík, dusík a vodík.
 - ▶ Zdrojom týchto plynov môže byť okolitá atmosféra, splodiny procesu horenia vykurovacích plynov, splodiny rozkladu obalov elektród a tavív, nečistoty v ochrannej atmosfére, hrdza, farby, mazadlá a pod.
 - ▶ Tieto plyny môžu byť príčinou pórovitosti zvarov, zmien mechanických vlastností zvarového kovu alebo príčinou praskavosti zvarov.

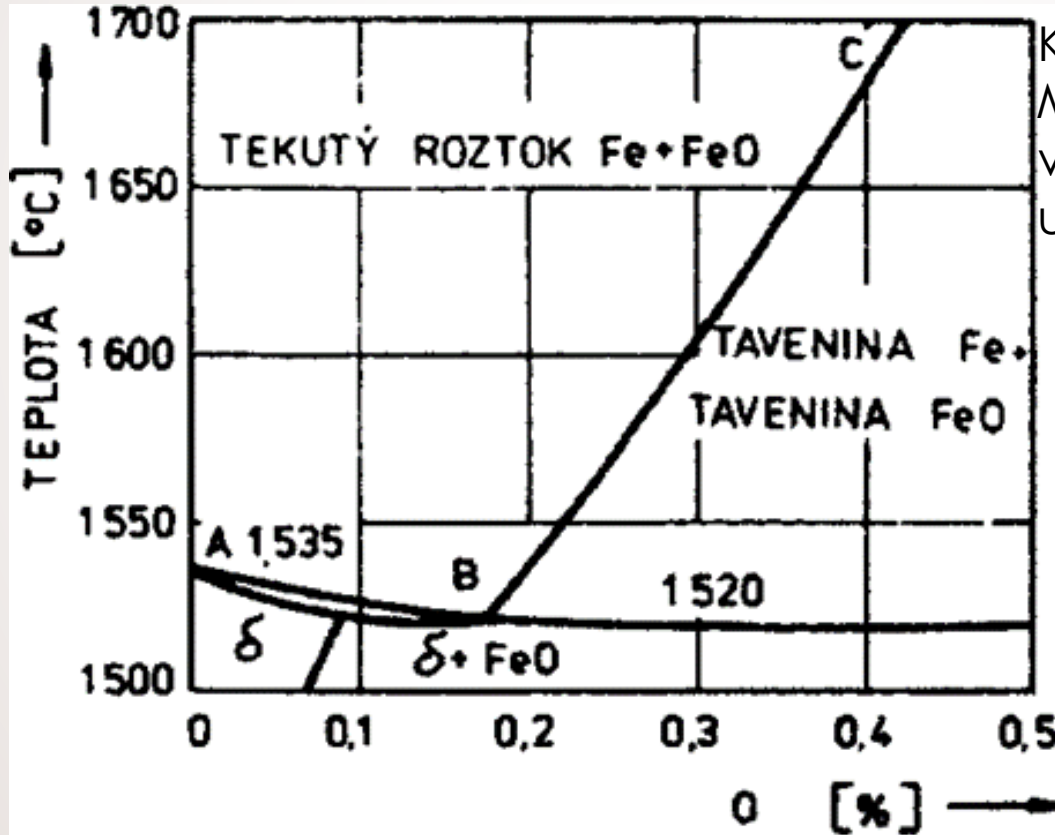


Absorpcia kyslíka

- Kyslík sa v oceli rozpúšťa vo forme FeO.
- V tuhom stave je rozpustnosť kyslíka v železe nepatrná.
- Je však značná v stave tekutom. Pri eutektickej teplote $1520\text{ }^{\circ}\text{C}$ je cca 0,18%.



Rovnovážný diagram Fe-FeO v oblasti teplot tavenia



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



Absorpcia kyslíka

- ▶ Pri zváraní je rozpustnosť kyslíka v železe daná predovšetkým danou technológiou zvárania.
- ▶ Pri zváraní kyslíko-acetylenovým neutrálnym plameňom je rádovo 0,03% až 0,05% pri strednom obsahu 0,20% FeO, čo zodpovedá nasýtenie čistého železa kyslíkom pri 900 ° C.
- ▶ Pri zváraní elektrickým oblúkom je obsah kyslíka ovplyvňovaný predovšetkým druhom a hrúbkou obalu, intenzitou použitého prúdu a dĺžkou oblúka.
- ▶ U kyslých a rutilových obalov kolíše obsah kyslíka vo zvarovom kove medzi 0,05% až 0,1%.
- ▶ U zásaditých obalov je obsah kyslíka vo zvarovom kove nižší ako 0,05%.



Absorpcia kyslíka

- ▶ Kyslík pôsobí na mechanické vlastnosti podľa toho, či je v oceli rozpustený, alebo či je obsiahnutý v oceli vo forme inklúzií.
- ▶ V rozpustenom stave pôsobí kyslík na mechanické vlastnosti bezprostredne.
- ▶ S rastúcim obsahom kyslíka klesá pevnosť a tvrdosť zvarového kovu.
- ▶ Ťažnosť sa mení veľmi málo. Vrubová húževnatosť silno klesá.
- ▶ Ak je kyslík obsiahnutý vo zvarovom kove vo forme inklúzií (oxidov) znižuje súdržnosť zvarového spoja.
- ▶ Obsah kyslíka vo zvarovom kove môžeme znížiť tým, že do zváraného kovu dolegujeme prvky s veľkou afinitou ku kyslíku, takzvané dezoxidačné prvky. Sú to predovšetkým Si, Mn, Al a Ti.



Absorpcia vodíka

- ▶ Vodík podobne ako kyslík je oceľou absorbovaný (pohlcovaný) počas zvárania.
- ▶ Jeho zdrojom môže byť okolitá atmosféra, alebo oveľa častejšie vlhkosť z obalov elektród alebo tavivá.
- ▶ Nebezpečenstvo absorpcie vodíka vo zvarovom kove je tým väčšia, čím viac obal elektródy alebo tavivo absorbuje vodu z okolitej atmosféry, je hygroskopické.
- ▶ Preto je nutné obalené elektródy a tavivá pred zváraním sušiť.
- ▶ Pre dokonalé vysušenie bázických elektród je výrobcom doporučený režim 100 ° C / 1h + 300 ° C - 350 ° C / 2h.



Absorpcia vodíka

- ▶ Rutilové a kyslé elektródy sa sušia pri nižších teplotách, aby nedošlo k rozkladu zložiek obalu už pri sušení.
- ▶ Po vysušení je nutné udržiavať elektródy pred použitím na určitej teplote, alebo ich spotrebovať do určitej doby, zvyčajne 4 hodiny.
- ▶ Predpísaná udržiavacia teplota je v rôznych predpisoch uvádzaná v rozmedzí 80 ° C až 100 ° C.
- ▶ Tavivá sa sušia podľa typu v rozsahu teplôt 200 ° C až 800 ° C.
- ▶ Výrobca prídavného materiálu je povinný na obale prídavného materiálu alebo inou formou predpísať požadovaný režim jeho sušenia.



Absorpcia vodíka

- Zdrojom vodíka vo zvarovom kove môžu byť ďalej mastnoty, zvyšky organických hmôt alebo korózne produkty na zvarových plochách.
- V prípade zbytku kondenzovanej vody v tlakovej fľaši, môže byť zdrojom vodíka aj ochranný plyn.



Vodík môže byť obsiahnutý v dvoch formách:

- ▶ v molekulárnom stave (H_2) ako plynové dutinky na hraniciach zŕn, alebo v poruchách mriežky (často pod vysokým tlakom), alebo tiež v bublinách vo forme CH_4 a H_2O ,
- ▶ ako vodíkový ión H^+ (Protón) intersticiálne rozpustený v mriežke železa.



Absorpcia vodíka

- ▶ Charakteristickou vlastnosťou vodíkového iónu H^+ je jeho ľahká difúzia mriežkou železa, dokonca pri normálnej teplote.
- ▶ Rozpustnosť vodíka v železe sa podľa normy STN EN ISO 3690 udáva najčastejšie v ml 100 g⁻¹ zvarového kovu.
- ▶ V železe alfa môže byť rozpustené max. 5 ml 100 g⁻¹ vodíka, v železe gama max. 8 ml 100 g⁻¹ vodíka.
- ▶ V prehriatom zvarovom kove pri teplote 1800 ° C do 33 ml 100 g⁻¹.
- ▶ Rozdiel rozpustnosti vodíka vo zvarovom kove a v stuhnutom zvare je značný a z tohto rozdielu vyplývajú problémy pri zváraní feritických ocelí, ktoré spôsobuje vodík schopný difúzie.
- ▶ Podľa obsahu vodíka schopného difúzie vo zvare stanovujeme stupeň obsahu vodíka.



Stupne obsahu vodíka

Obsah difúzneho vodíka (ml / 100g zvarového kovu)			Stupne obsahu vodíka
	>	15	A
10	<	15	B
5	<	10	C
3	<	5	D
	<	3	E



Absorpcia vodíka

- ▶ U základných elektród na ručné oblúkové zvarovanie je možné použiť stupeň B až D podľa špecifikácie výrobcu elektródy.
- ▶ U rutilových alebo celulóзовých elektród má byť použitý stupeň A. U plnených elektród s tavidlovou alebo kovovou náplňou je možné použiť stupeň B až D podľa zaradenia výrobcu.
- ▶ Kombinácia drôtu a taviva pre zvarovanie pod tavivom sa môžu zaradiť do stupňov B až D, ale najtypickejší je stupeň C.
- ▶ Stupeň obsahu vodíka sa musí stanoviť pre každú kombináciu drôtu a taviva.
- ▶ U prídavných materiálov pre zvarovanie v ochranných atmosférach sa najčastejšie používa stupeň D.
- ▶ Zaradenie týchto prídavných materiálov, ale aj niektorých plnených elektród a základných obalených elektród do stupňa E vyžaduje výkon osobitného ohodnotenia (merania).
- ▶ Pre zvarovanie plazmou musí byť prevedené osobitné ohodnotenie.



Absorpcia vodíka

- ▶ Vodík schopný difúzie je príčinou vzniku pórov vo zvaroch, spôsobuje zvláštnu vadu zvanú "rybie oká" (fish eyes) a je základnou príčinou vzniku studených vodíkom indukovaných trhlín vo zvaroch.
- ▶ Pri tuhnutí zvaru prudko klesá rozpustnosť vodíka.
- ▶ Vodík, ktorý presahuje hranicu rozpustnosti pri danej teplote je vytlačený z mriežky železa, zhromažďuje sa na voľných povrchoch (chyby štruktúry) a rekombinuje na vodík molekulárnej H_2 za súčasného zvýšenia objemu.
- ▶ Týmto mechanizmom vznikajú póry vo zvarovom kove "rybie oká", vznikajú vo zvaroch pri vysokých obsahoch vodíka schopného difúzie pri pomalom pozvoľnom zaťažovaní zvaranej konštrukcie nad hranicou pružnosti.
- ▶ Nie sú preto zistiteľné vo zvaroch metódami nedeštruktívnej kontroly bezprostredne po zvarení.
- ▶ Rybie oká nemajú nepriaznivý vplyv na mechanické vlastnosti zvarových spojov v oblasti namáhania zvaraných konštrukcií pod hranicou pružnosti.



Absorpcia vodíka

- Rybie oká môžeme pozorovať na lomoch zvarov ako biele, vodíkom indukované trhliny kruhového tvaru s rozmermi od 1 mm do 10 mm.
- Najčastejšie vznikajú vo zvaroch v okolí inklúzií, kde je zvýšená koncentrácia miest pre rekombináciu vodíka.
- Dutinky majú na lomových plochách spravidla tmavú farbu, ktorá kontrastuje s bielou plochou kruhovej trhliny.
- Celok vyvoláva dojem rybieho oka.



Absorpcia vodíka

- ▶ Najnebezpečnejšou vadou, ktorú vodík spôsobuje vo zvarových spojoch, sú studené, vodíkom indukované trhliny nazývané niekedy aj "zbrzdené lomy".
- ▶ Tento názov vyjadruje skutočnosť, že k vzniku studenej vodíkom indukovanej trhliny môže dôjsť aj za niekoľko hodín, prípadne dní po zvarení.
- ▶ Príčinou vzniku trhlín sú objemové zmeny pri rekombinácii vodíka, ktoré vyvolajú veľké miestne zvýšenie tlaku a napätie v miestach, kde k rekombinácii vodíka dochádza.
- ▶ Súčet napätia vyvolaného rekombináciou vodíka a napätia vyvolaného zvaracím procesom môže byť dostatočný k vzniku studenej trhliny.



Vzniku vád vo zvarových spojoch spôsobených vodíkom môžeme zabrániť nasledujúcimi opatreniami, ktoré zvyčajne navzájom kombinujeme:

- a) používaním prídavných materiálov s nízkym obsahom difúzneho vodíka,
- b) dokonalou ochranou zvarového kovu pred pôsobením okolitej atmosféry,
- c) predhrevom zvarových spojov,
- d) používaním väčších priemerov prídavných materiálov a vysokých hodnôt intenzity zvaracieho prúdu,
- e) dohrevom zvarových spojov,
- f) tepelným spracovaním pod teplotou A_c1 .



Absorpcia dusíka

- ▶ Do zvarového kovu sa dusík dostáva najmä z okolitej atmosféry pri nedostatočnej ochrane zvarového kúpeľa.
- ▶ Tá môže byť spôsobená príliš veľkou vzdialenosťou horáka od tavného kúpeľa, veľkou dĺžkou elektrického oblúka, malým množstvom ochranného plynu, turbulenciami ochranného plynu v plynovej hubici, atď.
- ▶ Tiež rozpustnosť dusíka v železe je závislá od teploty.
- ▶ Tekuté železo môže pri teplote 1800 ° C v rovnovážnom stave absorbovať až 0,04% dusíka.
- ▶ Pri transformácii železa rozpustnosť dusíka v železe skokovo rastie.
- ▶ V oblasti austenitu rozpustnosť dusíka v železe na rozdiel od vodíka s rastúcou teplotou klesá.



Absorpcia dusíka

- ▶ Pri teplote okolia je rozpustnosť dusíka v železe cca 0,001%.
- ▶ Zvary uskutočnené neutrálnym kyslíko-acetylenovým plameňom obsahujú zvyčajne do 0,02% dusíka.
- ▶ Zvary uskutočnené kyslými a rutilovým elektródami obsahujú cca 0,03% až 0,04% dusíka.
- ▶ Zvary uskutočnené bázickými elektródami cca 0,02% dusíka.
- ▶ Pri použití tavených tavív pri zváraní technológiou 121 môžeme očakávať obsah dusíka v rozmedzí cca 0,002% až 0,003%.
- ▶ Vo zvaroch vykonaných spekanými a keramickými tavidlami 0,003% až 0,007%.



Absorpcia dusíka

- S rastúcim obsahom dusíka vo zvarovom kove sa zvyšujú hodnoty R_e , r_m a HV10.
- Mierne klesá ťažnosť zvarového kovu a prudko sa znižujú hodnoty nárazovej práce a vrubovej húževnatosti zvarového kovu.
- Tiež vo zvarovom kove môžu nitrídy železa precipitujúce z presýteného tuhého roztoku vyvolať jav, ktorému hovoríme "starnutie ocele".