



Spolufinancované z
programu Európskej únie
Erasmus+



Erasmus+

MODUL A

Úvod do problematiky zvárania kovov

Tepelne ovplyvnená oblasť zvarových spojov



Tepelne ovplyvnená oblasť zvarových spojov

- ▶ Tepelne ovplyvnená oblasť (TOO) vzniká zvaraním.
- ▶ Pri zvaraní kovov a zliatin bez polymorfnej premeny (Cu, Ni, Al) sa mikroštruktúra v TOO nemení.
- ▶ Tu dochádza iba k zmenám subštruktúry, rekryštalizácii alebo rastu zrn.
- ▶ Pri zvaraní ocelí sa mení mikroštruktúra v TOO.



Na transformáciu má najmä vplyv:

1. chemické zloženie ocelí,
2. pôvodná mikroštruktúra,
3. teplotné cykly (rýchlosť ohrevu, rýchlosť ochladzovania).



Pásmo čiastočnej prekryštalizácie definované teplotami Ac1 a Ac3

- ▶ U nelegovaných nízkouhlíkových ocelí s feriticko perlitickou štruktúrou nezačína transformácia perlitu na austenit pri rovnovážnej teplote Ac1, ale pri teplote vyššej.
- ▶ Teplotná hysterézia je tým väčšia, čím väčšia je rýchlosť ohrevu v prvej fáze teplotného cyklu.
- ▶ Po dosiahnutí teploty premeny perlit transformuje postupne na austenit.
- ▶ Pretože je táto premena závislá na rýchlosti difúzie je nutná aj čiastočná transformácia, zodpovedajúca, zodpovedajúce určitej teplote medzi Ac1 - Ac3, určitý čas.
- ▶ Transformácia preto neprebíha v celom objeme zrna perlitu naraz.
- ▶ Z už pretransformovaného austenitu difunduje uhlík do okolitého doteraz netransformovaného feritu.



Pásmo čiastočnej prekryštalizácie definované teplotami A_c1 a A_c3

- Účinkom difúzie uhlíka cez hranice zŕn sa zároveň drobí pôvodné feritické zrno.
- Podľa vyššie dosiahnutej teploty medzi A_c1 a A_c3 môžeme v štruktúre takisto pozorovať určitý objem pôvodnej netransformovanej štruktúry, ktorá je vysoko popustená.
- V dôsledku týchto zmien vzniká v pásme čiastočnej prekryštalizácie nehomogénna štruktúra čo do veľkosti zŕn aj produktov transformácie po ochladení.



Pásmo čiastočnej prekryštalizácie definované teplotami Ac1 a Ac3

- ▶ Odlišný charakter štruktúry má v pásme ohriatom na teploty Ac1 - Ac3 zvarový spoj zušľachtených ocelí.
- ▶ V dôsledku kalenia a popúšťania je predvolená štruktúra spravidla tvorená vysoko popusteným martenzitom.
- ▶ V porovnaní s feriticko-perlitickou štruktúrou má zušľachtená oceľ rovnomernejšie rozdelenie uhlíka.



Precipitácia v tepelne ovplyvnenej oblasti

- K významným zmenám v precipitácii karbidov, nitridov a karbonitridov dochádza v tepelne ovplyvnenej oblasti.
- V uhlíkových konštrukčných oceliach môžu nitridy precipitovať pri teplotách pod A_{c1} .
- Precipitácia nitridu Fe_16N_2 pri teplote okolia je známa ako starnutie ocele.
- Starnutie ocele môže nastať aj pri teplotách 200 °C do 300 °C ak je v štruktúre voľný dusík.
- Maximálna rozpustnosť N v železe je závislá na teplote.
- Preto pri rýchlom ochladení TOO pri zváraní môže vzniknúť presýtený tuhý roztok N v železe alfa.



Precipitácia v tepelne ovplyvnenej oblasti

- Po niekoľkých dňoch potom môže z presýteného tuhého roztoku precipitovať nitrid Fe_{16}N_2 , ktorý je príčinou starnutia.
- Pevnostné vlastnosti tejto zóny sa síce zvyšujú, ale jej plasticita klesá.
- V prvej fáze atómy N segreguje na dislokácie a znižujú ich pohyblivosť.
- V druhom štádiu precipitujú nitridy Fe_{16}N_2 na dislokácie a v treťom štádiu precipitujú nitridy v celom objeme zrna ocele.
- Tento jav nie je v súčasnej dobe už tak nebezpečný, pretože u väčšiny konštrukčných uhlíkových ocelí sa novými metalurgickými postupmi podarilo znížiť obsah N v oceli, alebo je voľný dusík viazaný na stabilné nitridy napr. : AlN , TiN apod.



V systéme fe-N môžu v železe precipitovať nitridy:

- ▶ fe_3N , $Fe_{16}N_2$ pri teplote okolia alebo do teploty $200\text{ }^\circ\text{C}$ do $250\text{ }^\circ\text{C}$,
- ▶ fe_4N do teploty cca $450\text{ }^\circ\text{C}$.



Tepelne ovplyvnená oblasť zvarových spojov

- ▶ Starnutie sa prejaví najmä zvýšením tvrdosti tepelne ovplyvnenej oblasti.
- ▶ Mikrolegované ocele sú ocele legovanej Tí, Al, Nb a V v množstve do 0,15%.
- ▶ To sú prvky, ktoré tvoria s uhlíkom a N stabilné Karbonitridy (Al iba nitrid AlN), ktoré zjemňujú zrno ocele a disperzne spevňujú oceľ.
- ▶ Veľkosť týchto precipitátov je 20 nm až 100 nm.



V ohrevovej časti teplotného cyklu tieto častice najskôr koagulujú (hrubnú) a pri dosiahnutí ešte vyšších teplôt sa rozpúšťajú:

- Karbidy titánu 1150 ° C
- Karbidy nióbu 1150 ° C
- Karbidy vanádu 1100 ° C
- Nitridy hliníka 1350 ° C



Zrazeninové procesy vo zvarových spojoch:

1. Zvyšujú ich pevnostné vlastnosti a žiarupevnosť (najmä precipitáciu malých častíc typu MX v CrMoV oceliach),
2. Viazu voľný dusík, tým znižujú nebezpečenstvo starnutia zvarových spojov,
3. Znižujú plasticitu zvarových spojov



Tepelne ovplyvnená oblasť zvarových spojov

- ▶ Preto je nutné pri návrhu technológie zvarovania spevnených ocelí venovať mimoriadne veľkú pozornosť teplotnému režimu pri zvaraní, najmä tepelnému spracovaniu zvarových spojov po zvarení.
- ▶ Popúšťaciu teplotu je nutné voliť tak, aby sa dosiahlo optimum pevnostných aj plastických vlastností zvarového spoja.
- ▶ Ak popustíme zvarový spoj zrazeninovej spevnenej ocele na nízku teplotu nedosiahneme rovnovážny stav mikroštruktúry.



Tepelne ovplyvnená oblasť zvarových spojov

- ▶ Plastické vlastnosti zvarového spoja budú nízke a môže dôjsť k ich ďalšiemu zníženiu sekundárnym vytvrdzovaním pri zvýšených pracovných teplotách zvarového spoja.
- ▶ Sekundárne vytvrdzovanie je spôsobené ďalšou precipitáciou vytvrdzujúcich častíc z tuhého roztoku.
- ▶ Vysoké popúšťacie teploty zvyšujú plastické vlastnosti, ale znižujú pevnostné vlastnosti zvarových spojov.
- ▶ Zvarové spoje odstráneným vnútorným pnutím na vysoké teploty už zvyčajne sekundárne nevytvrdzujú.



Zhrubnutie zrna v pásme prehriatia TOO

- ▶ Po úplnej transformácii alebo po rekryštalizácii v kovoch bez polymorfnej premeny nie sú zrná v rovnováhe z dôvodu povrchového napätia hraníc zrn.
- ▶ Veľká zrná majú snahu rásť na úkor malých zrn. Výsledkom tohto je proces zhrubnutia zrna
- ▶ Hrubnutiu zrn môžu účinne brániť precipitáty (karbidy alebo karbonitridy legujúcich prvkov) alebo dutinky prítomné na hraniciach zrn až do teploty, kedy sa rozpustia.
- ▶ Preto pozorujeme hrubnutie zrn iba v pásme prehriatia TOO, v ktorom sú dostatočne vysoké teploty pre rozpúšťanie precipitátov.
- ▶ Teplote, pri ktorej dôjde k rozpusteniu precipitátov a zrno začne výrazne hrubnúť, hovoríme teplota prehriatia.



Zhrubnutie zrna v pásme prehriatia TOO

- ▶ Teplota prehriatia závisí od typu precipitátov na hraniciach zrn a jeho teplotnej stability.
- ▶ Nie je preto pri všetkých oceliach rovnaká.
- ▶ Najčastejšie sa uvádzajú v podmienkach zvarovania tj. pri rýchlych zmenách teploty v závislosti na čase a krátkych výdržiach na vysokých teplotách (iba niekoľko sekúnd) nasledujúce orientačné teploty prehriatia:
 - ▶ Nízkouhlíková oceľ 1050 ° C,
 - ▶ Nízkolegovaná CrMoV oceľ 1200 ° C,
 - ▶ Mikrolegované ocele až 1350 ° C.



Základné typy inklúzií v tepelne ovplyvnenej oblasti zvarového spoja

- ▶ U ocelí rozlišujeme dva základné typy inklúzií - oxidy a sulfidy.
- ▶ Oxidy vznikajú už v štádiu tavenia ocele v perióde oxidácie.
- ▶ Oxidy však prechádzajú do trosky.
- ▶ Oxidy bývajú v TOO veľmi stabilné a nerozpúšťajú sa ani pri najvyšších teplotách ovplyvnenia.
- ▶ Disperzné oxidy môžu brániť pohybu hraníc zrn a tým brzdiť rast zrn v pásme prehriatia.



Základné typy inklúzií v tepelne ovplyvnenej oblasti zvarového spoja

- Oxidy môžu tiež tvoriť zárodoky pri vylučovaní feritu z austenitu počas transformácie.
- Ak obsahujú však oxidy vyšší podiel FeO alebo iné zložky s nižšou teplotou tavenia, môžu sa v pásme prehriatia rozpúšťať.
- Potom prispievajú k náchylnosti na vznik teplých trhlín (likvačnej praskavosti).
- Nízkotavitelné oxidy môžu byť tiež príčinou tvorby pórov vo zvarovom kove, najmä u tých technológií zvarovania, u ktorých je zvarový kov tvorený z veľkej časti základným materiálom napr. pri zvarovaní pod tavidlom.



Základné typy inklúzií v tepelne ovplyvnenej oblasti zvarového spoja

- Zvyčajne sa ako dutinky v oceli objavujú sulfidy napríklad MnS s teplotou tavenia $1610\text{ }^{\circ}\text{C}$ alebo FeS s teplotou tavenia $988\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Sulfidy sa môžu v pásme prehriatia TOO rozpúšťať a vzniknutá tavenina penetruje na hranice zŕn a je metalurgickou príčinou praskavosti ocele za tepla.
- Sulfidy sú najčastejšou príčinou likvačnej praskavosti ocele.
- Podobné vlastnosti majú aj karbosulfidy a sulfonitridy.
- Vplyv sulfidov na zvariteľnosť ocelí je preto negatívny.
- Sulfidy spôsobujú ako praskavosti za tepla, ale aj lamelárnej a žihacej praskavosti.



Pásma v tepelne ovplyvnenej oblasti a ich vlastnosti

- ▶ pásmo čiastočnej prekryštalizácie
- ▶ pásmo normalizácie tepelne ovplyvnenej oblasti
- ▶ pásmo prehriatia



Pásmo čiastočnej prekryštalizácie

- ▶ Pokles pevnosti v tepelne ovplyvnenej oblasti zvarových spojov je zrejmý najmä pri zváraní zušľachtených a termomechanicky spracovaných ocelí.
- ▶ Menšie zníženie pevnosti môžeme tiež pozorovať aj u iných ocelí v pásme čiastočnej prekryštalizácie TOO pri teplotách tesne nad Ac1 a v základnom materiáli ovplyvnenom teplotnými cyklami pri zváraní na teplotu tesne pod Ac1.
- ▶ Dôvodom je vysoký stupeň popúšťania mikroštruktúry a rekryštalizácia.
- ▶ V tomto pásme dosahujeme najnižšie hodnoty r_m , R_e a HV10 z celej TOO zvarového spoja, naopak hodnoty KCV, A5 a Z sú tu zvyčajne najvyššie z celej TOO.



Pásmo normalizácie tepelne ovplyvnenej oblasti

- ▶ V tomto pásme, ktoré je dané teplotami A_{c3} až teplota prehriatia nedochádza ku hrubnutiu austenitických zŕn v ohrevovej časti teplotného cyklu pri zváraní, pretože teplota ovplyvnenia je nižšia ako teplota prehriatia.
- ▶ Vyznačuje sa jemným zrnom, a preto je tiež niekedy označované ako jemnozrnná oblasť TOO.
- ▶ Rýchlosti ochladzovania v ochladzovacej časti teplotného cyklu pri zváraní sú len o málo väčšie ako rýchlosti ochladzovania pri normalizácii základného materiálu pred zváraním.
- ▶ Mikroštruktúra tohto pásma je menej zakalená ako v pásme prehriatia.
- ▶ Preto mechanické hodnoty tohto pásma sú porovnateľné alebo o niečo vyššie ako vo zváranom normalizovanom základnom materiáli.
- ▶ Je to pásmo, kde sa dosahuje optimálneho pomeru pevnostných a plastických vlastností.



Pásmo prehriatia

- ▶ V pásme prehriatia pôsobia tieto dva faktory:
 - ▶ Veľké spevnenie materiálu spôsobené veľkými rýchlosťami ochladzovania z austenitizačnej teploty, ktoré vedú k vzniku presýtených martenziticko-bainitických štruktúr s vysokými pevnostnými a nízkymi plastickými vlastnosťami.
 - ▶ Zhrubnutie zrna, ktoré spôsobuje zníženie pevnostných vlastností a vedie k zníženiu plastických vlastností.
- ▶ Na mechanické vlastnosti tohto pásma tepelne ovplyvnenej oblasti má transformačné spevnenie veľký vplyv.
- ▶ Pásmo prehriatia sa vyznačuje najvyššími hodnotami r_m , R_e a HV_{10} z celej tepelne ovplyvnenej zóny zvarového kovu.