



Friction Stir Welding European Qualifications

## CU04 – Dodatočné spracovanie FSW Špecialista a inžinier



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

# 4. Dodatočné spracovanie

4.1. Vizuálna kontrola

4.2. Nedokonalosti a vady

4.3. Príčiny nedokonalostí/vád

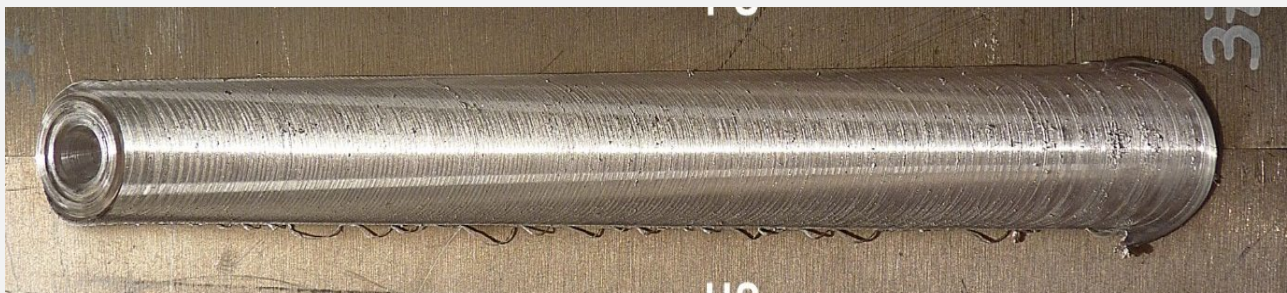
## 4. Dodatočné spracovanie

- Výhoda procesu FSW s optimalizovanými parametrami v porovnaní s inými klasickými postupmi zvárania spočíva v tom, že po ukončení procesu zvárania nie je potrebné vykonávať tieto operácie:
  - brúsenie
  - čistenie
  - tepelné spracovanie zváraných spojov
- Na kontrolu kvality zváraného spoja po zváraní sa najskôr vykoná vizuálna kontrola.

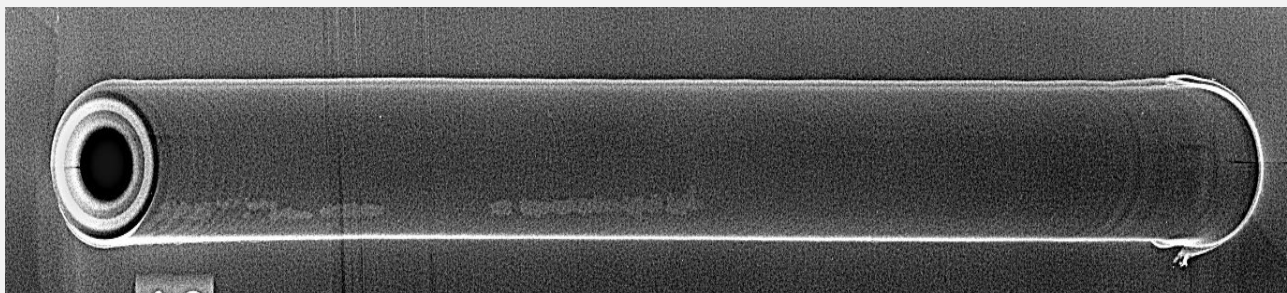
## 4.1 Vizualna kontrola

- Počas celého procesu zvarania je potrebná vizualna kontrola kvality zvaraného spoja
- Pred začatím zvarania je tiež potrebné vizualne skontrolovať správne upnutie zvaraných dosiek a zvaracieho nástroja
- V prípade nedostatočnej vizualnej kontroly pred a po zvaraní sa môžu vyskytnúť rôzne nedostatky a chyby

## 4.1 Vizualna kontrola

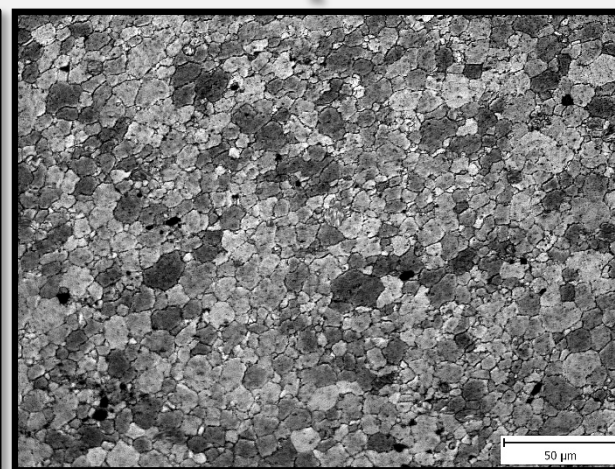
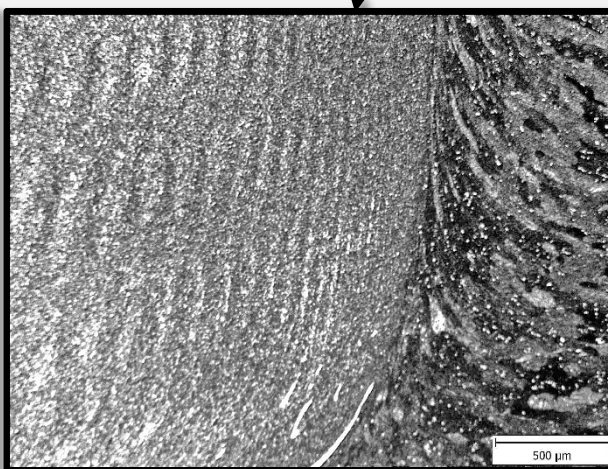
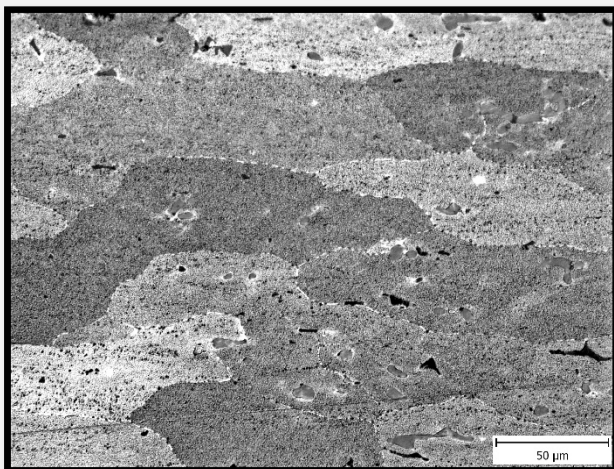
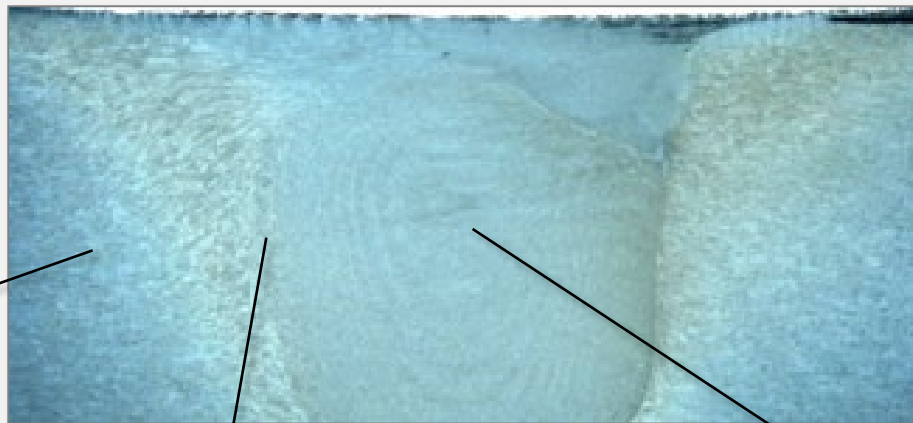


Bezchybný zváraný spoj



Rádiogram zváraného spoja

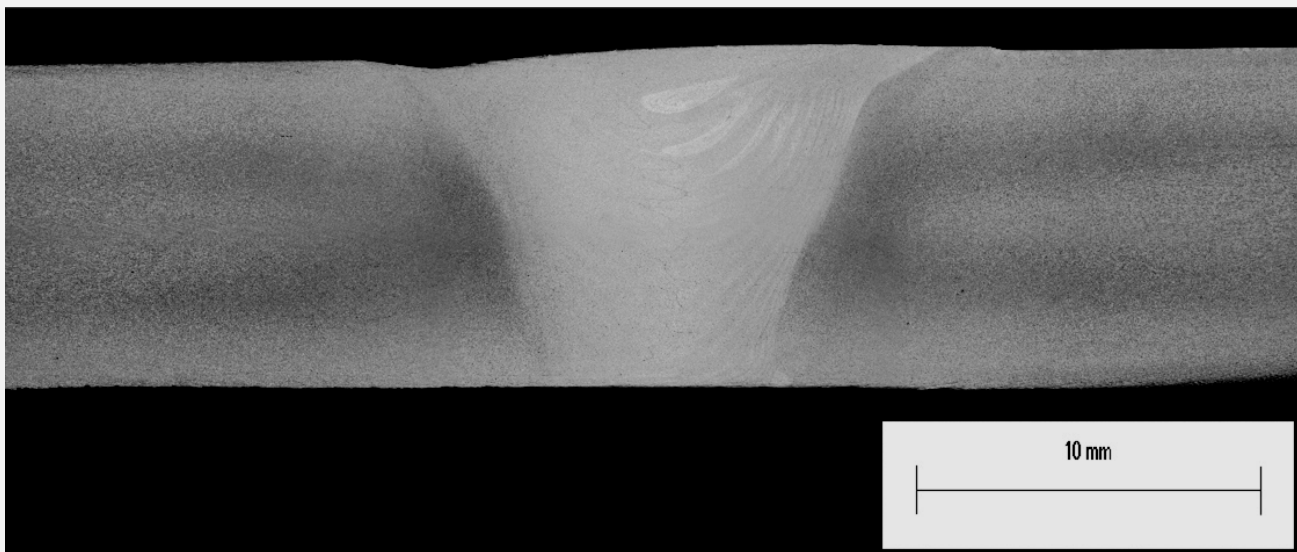
## 4.1 Vizuálna kontrola



### Bezchybný zváraný spoj

Jemnozrná viacstenná mikroštruktúra zliatiny Al (EN AW 5083 H111) s vynikajúcimi pevnostnými vlastnosťami

## 4.1 Vizuálna kontrola



**Bezchybný zváraný spoj** – makroštruktúra zváraného spoja z Al zliatiny EN AW 6005 T6

Zvárané s nasledujúcimi parametrami:

- ✓ 1500 ot/min
- ✓ 300 mm/min
- ✓  $t=10\text{mm}$

## 4.2 Nedokonalosti a vady

- Na stanovenie kvality zvarových spojov, pokiaľ ide o vnútorné nedostatky a defekty, je nevyhnutné použiť deštruktívne techniky.
- Teplo dodávané počas zvarovania pomocou procesu FSW má tendenciu vytvárať podmienky, ktoré spôsobujú mikroštrukturálne transformácie, ako sú: rekryštalizácia, rast zŕn a rozpúšťanie zrazenín.
- Takéto mikroštrukturálne transformácie sa uskutočňujú pri rôznych teplotách pre rôzne materiály a závisia od chemického zloženia zvarovaných materiálov.

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a väd

Najčastejšie vnútorné nedostatky, ktoré sa vyskytujú v FSW, môžu zahŕňať:

- dutiny
- nedostatočne premiešaný koreň
- trhliny

V prípade, že sa do procesu zvárania privádza nedostatočné teplo potrebné na plastifikáciu zváraného materiálu, vyskytujú sa vo zvarovom spoji nedostatky nazývané dutiny.

Aj keď vyššie rýchlosti zvárania zvyšujú produktivitu zváraných spojov, príliš vysoké rýchlosti vedú k tvorbe dutín pod povrchom zváraného spoja a / alebo na postupujúcej strane na okraji zváraného spoja.

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád

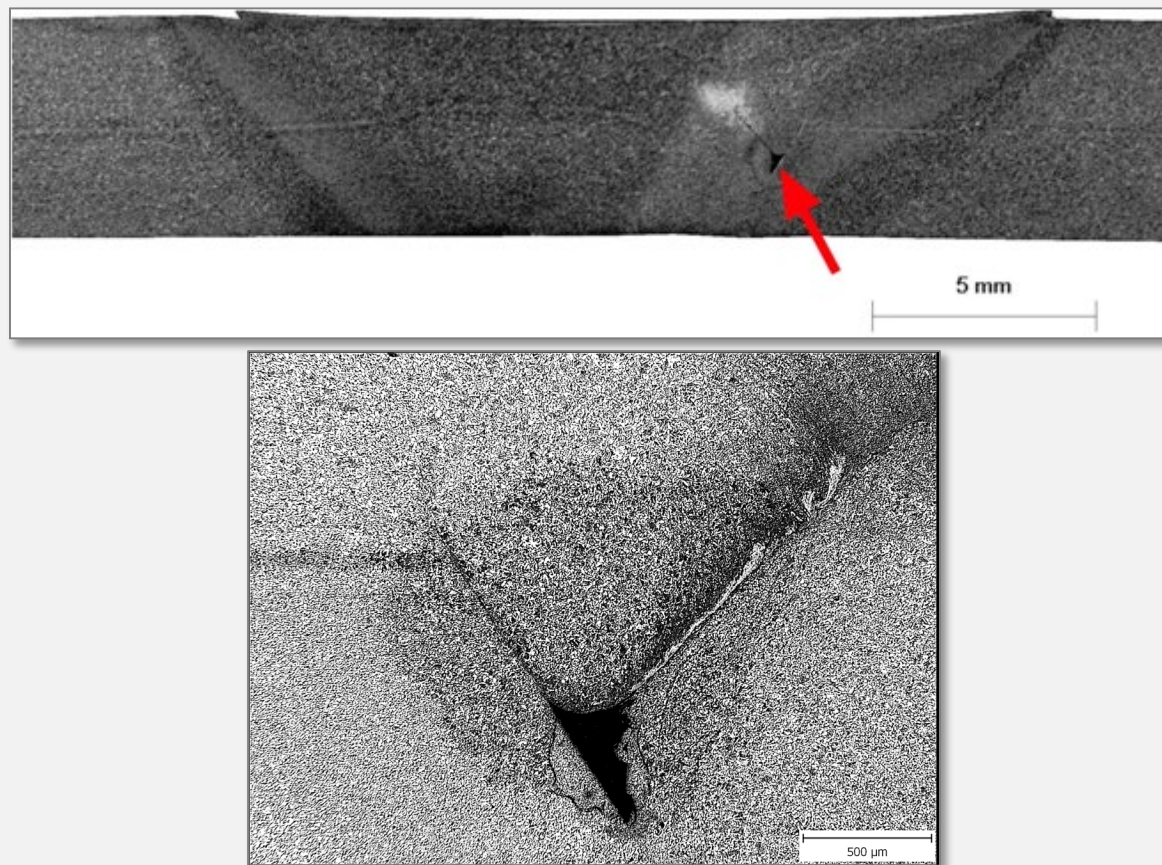
- Na udržanie **dostatočného tepla** potrebného na zváranie je potrebné znížiť rýchlosť zvárania, čo vedie k **lepšej plastifikácii zváraného materiálu**.
- Experimentálne výsledky ukázali, že zóna, v ktorej sa vyskytli dutiny, sa významne zväčšovala so zvyšujúcou sa rýchlosťou zvárania.
- Bolo tiež dokázané, že so zväčšujúcim sa priemerom ramena nástroja vstupuje do procesu väčší objem tepla, čo spôsobuje lepšie plastifikovanie materiálu a tým sa zabráni **výskytu dutín vo zváranom spoji**.

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád



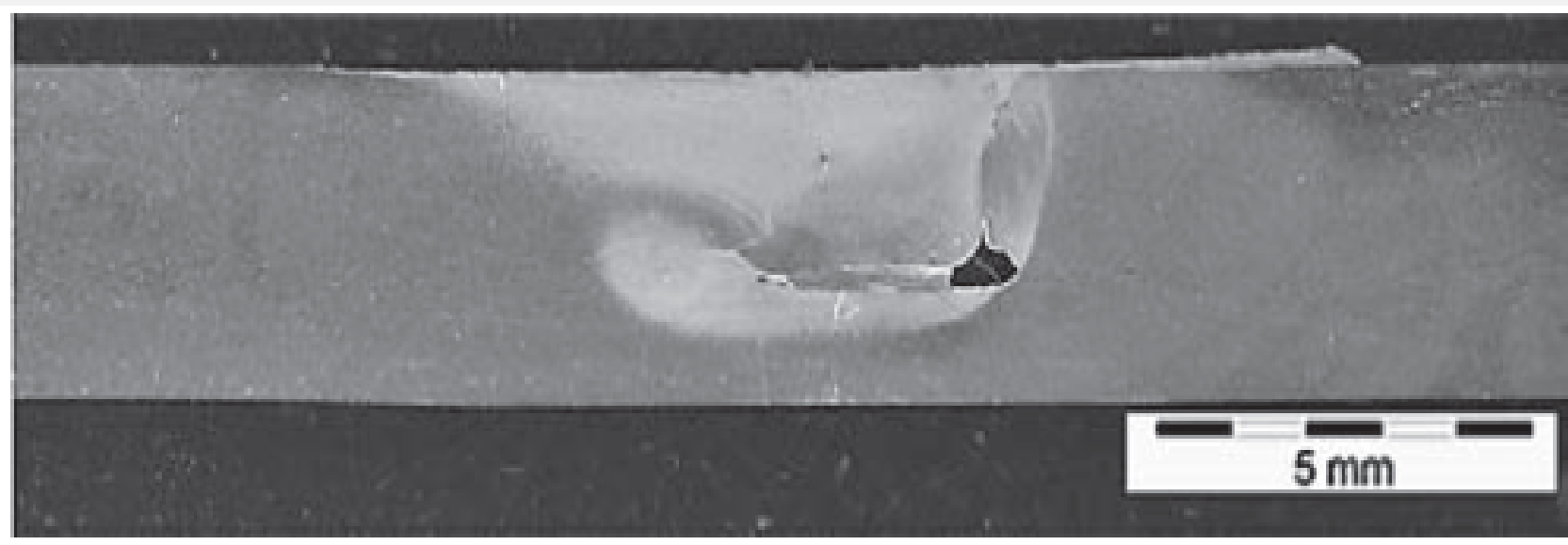
Pozdĺžna dutina vo zváranom spoji vyrobená  
z čistého Al  
Hrúbka 10 mm

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád



Makro a mikroštruktúra dutiny vo zváranom spoji

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád



Makroštruktúra dutiny vo zváranom spoji zo zliatiny AlSi12

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád

- Ďalší problém týkajúci sa oblasti vnútorných defektov spočíva v nedostatočne vyťaženom koreňovom jadre.
- Táto chyba sa označuje ako kissing bond.
- Takéto chyby sa vytvárajú v dôsledku nedostatočného prívodu tepla a / alebo v dôsledku neúplného narušenia povrchových oxidových vrstiev.
- Ďalšou príčinou vzniku defektov môže byť nedostatočne zvolená dĺžka čapu a hĺbka ponoru zvaracieho nástroja vo vzťahu k hrúbke zváraného materiálu.

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád

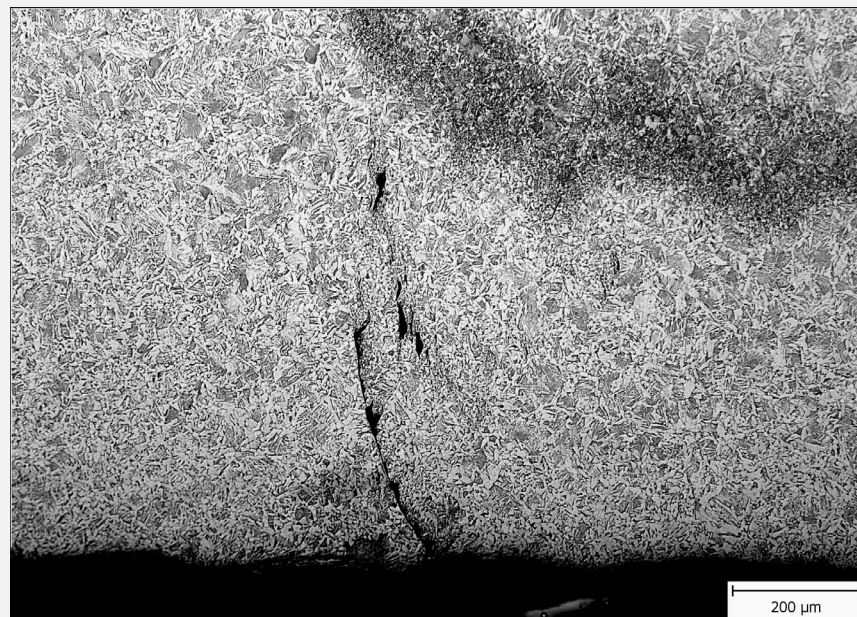
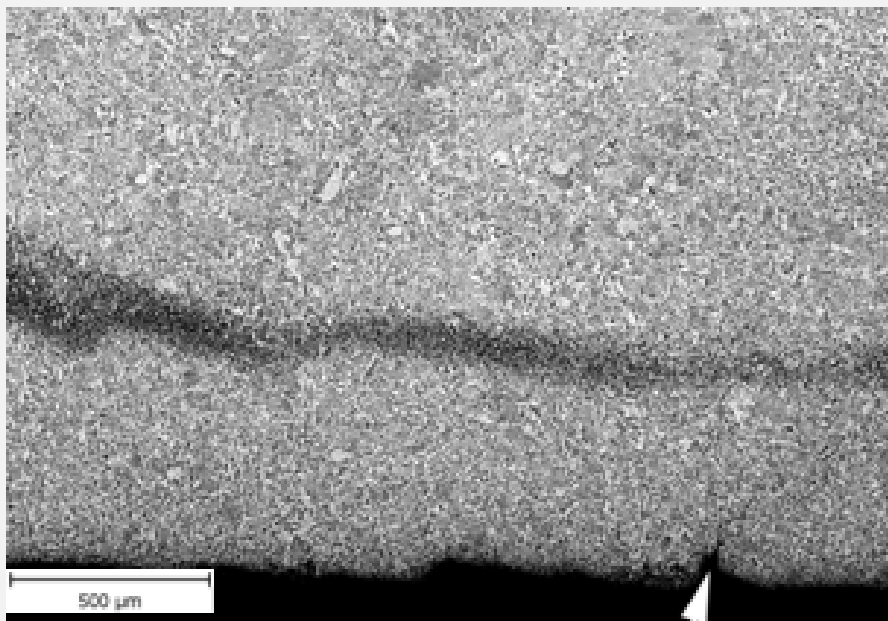
- Pri primerane vysokých otáčkach zvaracieho nástroja sa do spoja dodáva dostatočný tepelný príkon, ktorý podporuje správne miešanie zvaraného materiálu so širokým a rozptýleným rozdelením častíc.
- Priemerná veľkosť zrn v zóne miešania sa znižuje so zvyšujúcou sa rýchlosťou zvarania a / alebo rýchlosťou otáčok zvaracieho nástroja.
- Regulácia rýchlosti otáčania zvaracieho nástroja umožňuje významné potlačenie výskytu chyby.

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a väd



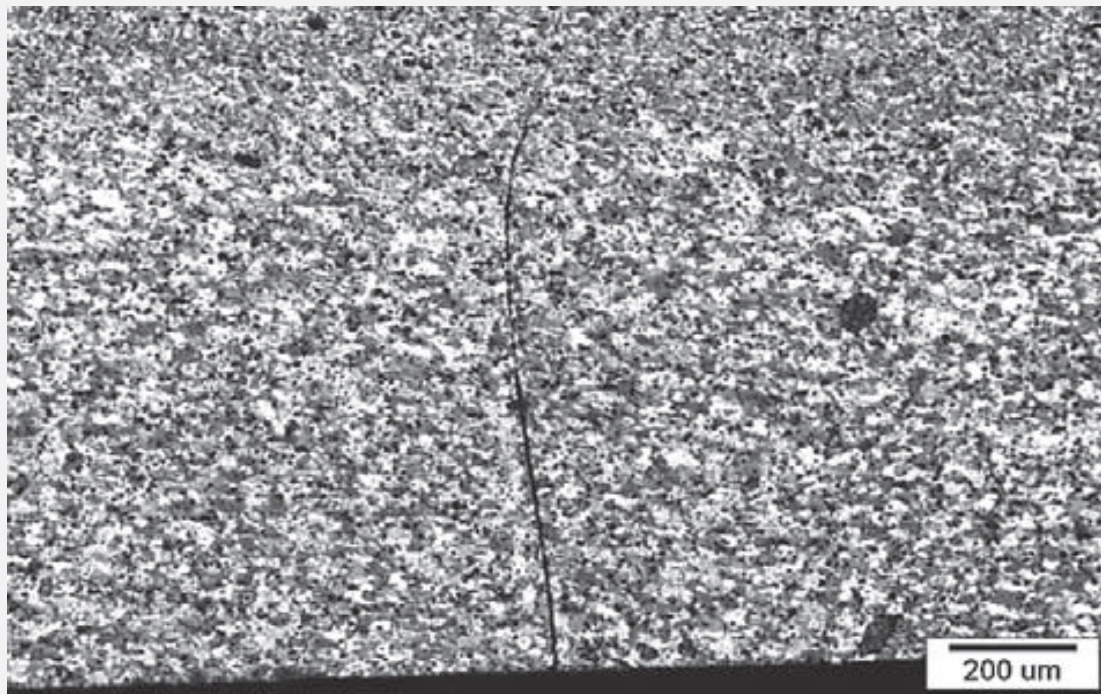
Nedostatočne premiešaný koreň zváraného spoja

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád



Mikroštruktúra zváraného spoja - absencia fúzie koreňov v oceli typu S235JRC  
+ N

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a väd



Mikroštruktúra zváraného spoja - nedostatok fúzie koreňov v Al zliatine typu 5083

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád

- Medzi ďalšími základnými nedokonalosťami a vadami možno uviesť trhliny.
- Experimentálne sa preukázalo, že trhlina, ktorá sa začala od koreňa zvarového spoja zvlnenou čiarou defektu, spôsobila prasknutie zvarového spoja počas skúšky ťahom.
- Na zabránenie vzniku trhlín vo zvarových spojoch platí to isté ako v prípade nedostatočnej fúzie koreňov. Je potrebné zabezpečiť dostatočný prívod tepla, ktorý podporuje správne miešanie zvarovaného materiálu.

## 4.3 Príčiny nedokonalostí a vád



Identifikovaná prasklina vo zvarovom spoji po skúške ohybom

## Záver

- Účinný výber parametrov zvarania (rýchlosť zvarania a otáčky zvaracieho nástroja) pre proces FSW eliminuje vznik uvedených defektov, čo významne prispieva k zlepšeniu mechanických vlastností zvaraných spojov.