

Aplikácia technológie FSW a HFSW pre konštrukčné kovy

Application Technology FSW and HFSW for Constructional Metals

Roman Pauliček

Anotácia: *Klasické zváranie trením a inerčné zváranie sú v podstate známe viac ako 50 rokov. V príspevku je prezentovaný pokrok v oblasti modifikácie tejto technológie. Jedná sa o technológiu „trecieho zvárania s premiešaním“ FSW (Friction Stir Welding) a hybridného zvárania HFSW (Hybrid Friction Stir Welding) s participujúcim druhým zdrojom ohrevu. Na Katedre zvárania MtF STU bola vyhodnotená kvalita zvarových spojov Al vyhotovených technológiou FSW. Technológie HFSW boli prevzaté z najnovšej zahraničnej literatúry. Možno konštatovať, že progres v oblasti HFSW technológií je v poslednom období veľmi dynamický.*

Key words: *metal, welding, friction stir welding, hybrid welding, laser, high frequency*

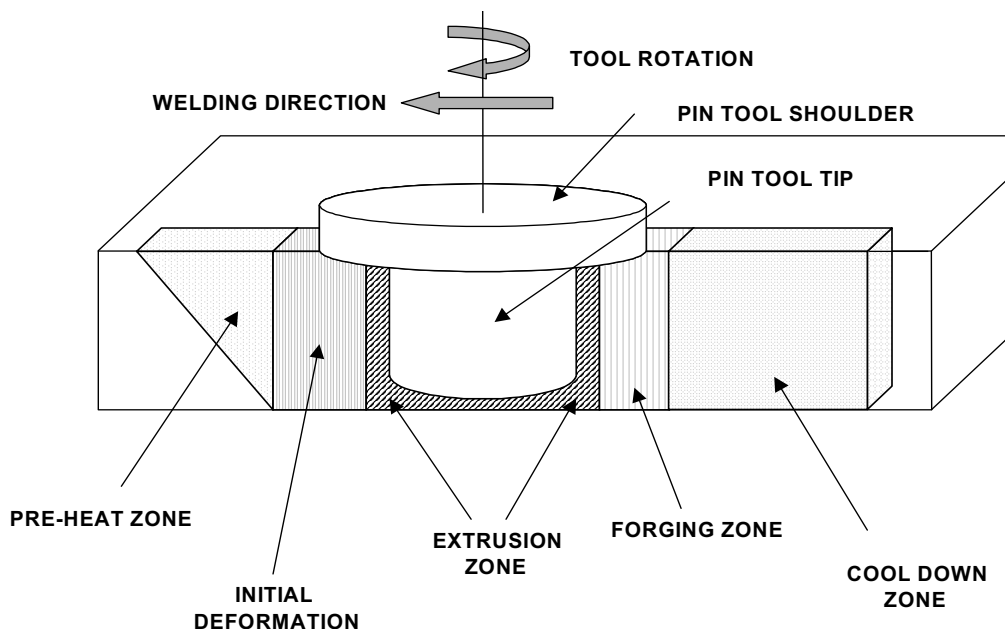
Úvod

V súčasnosti sú v odbornej praxi preferované technológie zvárania v pevnom stave medzi ktoré patrí aj Friction Stir Welding (FSW). Táto technológia bola spočiatku predurčená predovšetkým pre kovy s dostatočnou plasticitou, ako je napr. hliník a niektoré jeho zliatiny. Postupne sa odskúšalo zváranie iných kovov a ich zliatin (Cu, mosadz). Ďalšie možnosti poskytuje v súčasnosti vo svete tzv. hybridné zváranie (Hybrid Friction Stir Welding), kde na zvaracom procese participujú ďalšie zdroje ohrevu, ako napr. laser, vysokofrekvenčný ohrev a pod., ktoré napomáhajú rýchlejšie získať plastický stav zváraného materiálu a tým jednak urýchliť zvarací proces, ako aj predĺžiť životnosť zvaracieho nástroja. Pri týchto technológiách odpadajú všetky problémy súvisiace s tavením základných materiálov. Výhodou uvedených technológií je okrem iného, že sa zvara bez prídavných materiálov.

Technológia zvárania metódou FSW

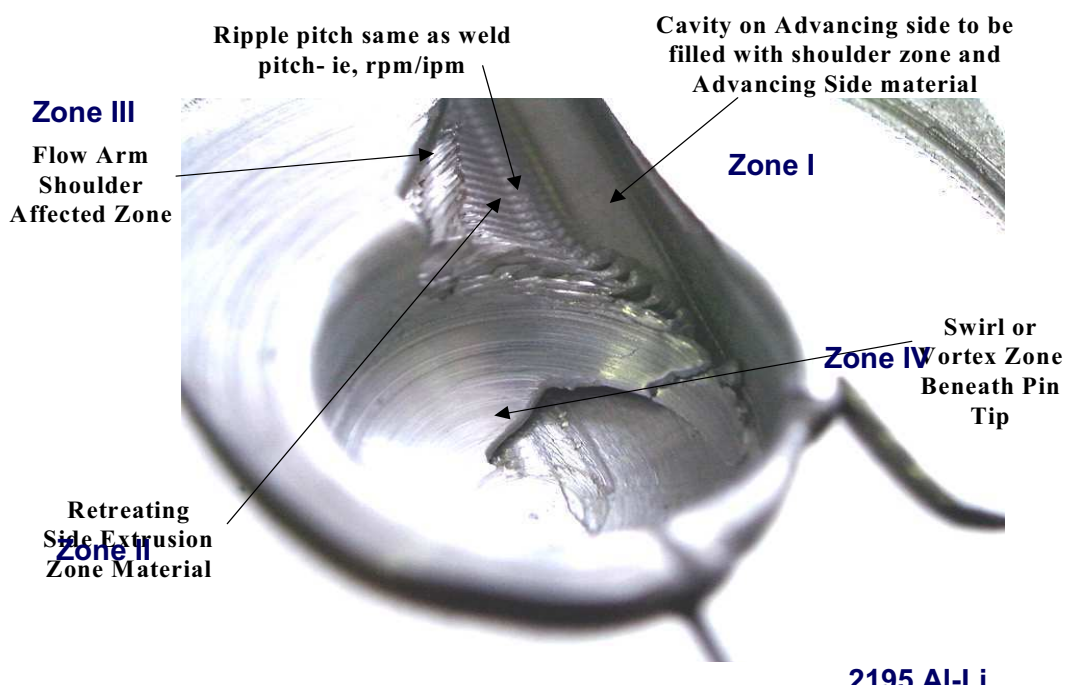
Zváranie FSW (zváranie s premiešaním) patrí medzi technológie zvárania v pevnom stave za tepla. Je to proces, pri ktorom sa netavia základné materiály. Toto poskytuje nové možnosti využitia špeciálnych a hybridných technológií. Pri FSW technológii sa rotujúci nástroj tvaru profilového čapu s osadením vtlačá do oblasti spájaných materiálov priložených tesne k sebe (bez zvarovej medzery). Zvárané materiály musia byť pevne upnuté na podložku spôsobom, ktorý zabráni odtlačeniu spojovaných kovov od seba. Teplo vznikajúce trením medzi nástrojom (vyrobeným z materiálu odolného proti opotrebeniu) a spájanými materiálmi spôsobí, že zváraný materiál sa dostáva do plastického stavu a umožní pohyb nástroja v smere osi zvaru. Splastizovaný materiál sa unáša k nábehovej strane rotujúceho čapu a tvárnenie sa realizuje v priestore uzatvorenom plochou osadenia nástroja. Po ochladení sa medzi

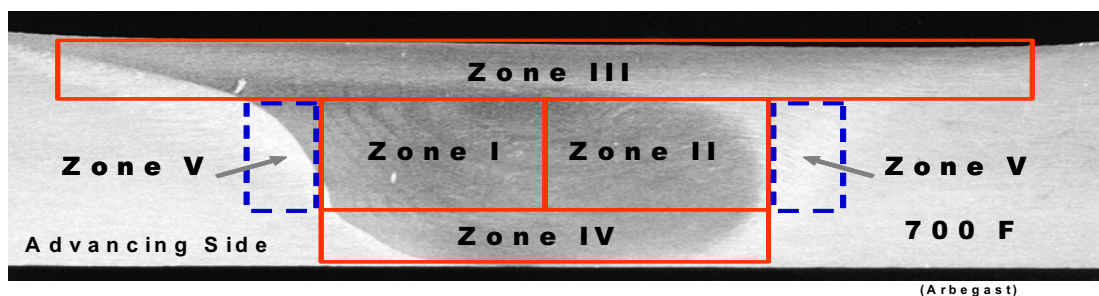
zváranými materiálmi vytvorí spoj na báze termomechanického tepelného spracovania. Princíp FSW technológie je uvedený na obr. 1.



Obr. 1 Schéma zvárania FSW [4]

Na obr. 2 a, b sú zobrazené štádiá toku materiálu v procese FSW zvárania.



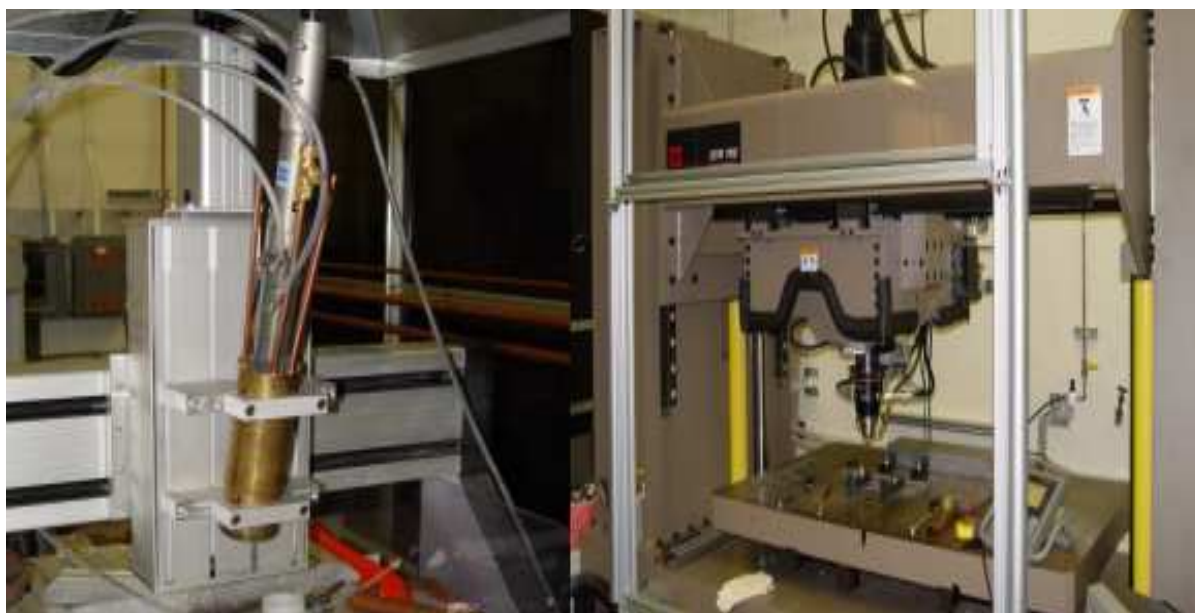


Obr. 2 a, b Štádiá toku (plastizácie) zliatiny (AlLi) v procese FSW zvarania [3,4]

Princíp technológie HFSW

Technológia zvarania metódou HFSW bola doteraz menej známa a začína sa postupne viac a viac aplikovať v technickej praxi vrátane materiálov používaných v chemickom priemysle (CrNi austenitická oceľ, Al, Cu, Ti). Nakoľko je v súčasnosti snaha čo najefektívnejšie pristupovať k novým technológiám s dosiahnutím čo najviac kladných výsledkov pre prax, začal sa proces FSW dopĺňať o ďalšie tzv. hybridné zvaracie procesy, ktoré predurčujú ich ďalší vývoj. Hybrid Friction Stir Welding (HFSW) je technológia, pri ktorej sa uplatňuje základný princíp trecieho zvarania s premiešaním a prídavnou technológiou (zdrojom ohrevu), ktorý vo fáze samotného procesu napomáha pri predohreve základného materiálu a tým uľahčuje samotný priebeh trecieho zvarania.

Na ohreve spájaných materiálov participuje napr. energia lasera, vysokofrekvenčný ohrev, GTAW a pod. Doplnkový spôsob ohrevu napomáha rýchlejšie získať plastický stav materiálu a tým nielen urýchliť zvarací proces, ale aj predĺžiť životnosť zvaracieho nástroja. Ako už bolo uvedené pri použití takýchto hybridných technológií odpadajú obdobne ako pri FSW problémy súvisiace s tavením základných materiálov. Jednou z predností uvedenej technológie okrem iného je, že sa zvara bez prídavných materiálov. Zariadenie na zvaranie HFSW je uvedené na obr. 3.



Obr. 3 Zariadenie na zvaranie HFSW, (4kW CW Nd:YAG laser a FSW) [2]

Výkon laserového lúča, ktorý participuje pri ohreve základného materiálu vyjadruje energetický vplyv lasera na materiál v procese zvarovania. Pod výkonom laserového lúča sa rozumie dodaná energia žiarenia smerovaná do fokusačného systému a následne do stopy laserového lúča (hustota energie). Význam výkonu a zadanie tohto parametra je oprávnené iba pri známych parametroch lúča, ako je vlnová dĺžka, mód, stopa, polarizácia, divergencia a pod. [1].

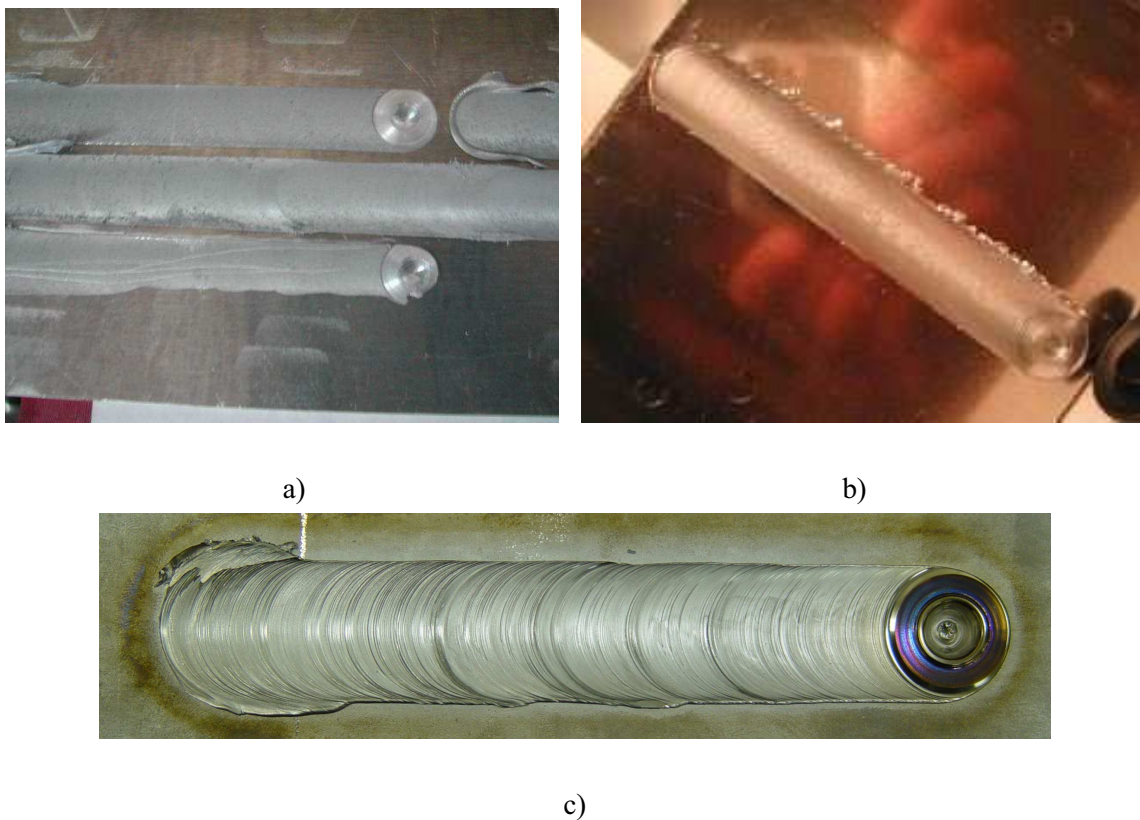
Na obr. 4 je HFSW zariadenie s participáciou GTAW zdroja ohrevu.



Obr. 4 HFSW zariadenie s participáciou GTAW zdroja ohrevu [14]

Parametre a podmienky zvarovania

Kritériá kvality zvarových spojov sú rôzne a závisia od technologických požiadaviek na zvarový spoj. Medzi všeobecné kritériá kvality možno zaradiť: geometriu zvaru, teplom ovplyvnenú oblasť (TOO), štruktúru zvaru, celistvosť zvaru (prítomnosť vnútorných a vonkajších defektov), mechanické vlastnosti a pod. Geometria zvarového spoja závisí predovšetkým od druhu základného materiálu, typu nástroja a rýchlosti pohybu nástroja v materiáli. Záleží aj na presnom nastavení spájaných materiálov (bez zvarovej medzery). Na obr. 5 a,b,c vidieť kresby zvarových húseníc (konštrukčná uhlíková oceľ, Al, Ti) vyhotovených technológiou FSW [2].



Obr. 5 a,b,c Kresby zvarových húseníc vyhotovených technológiou FSW [2]
(a - koštrukčná uhlíková oceľ, b - Al , c - Ti)

Medzi základné parametre zvarania FSW patrí rýchlosť zvarania, tvárniaca sila (obr. 10), rýchlosť otáčania zvaracieho nástroja a pri jednoduchých nástrojoch ich priemer. Špeciálne tvary nástrojov pre technológiu FSW sú uvedené na obr. 6.

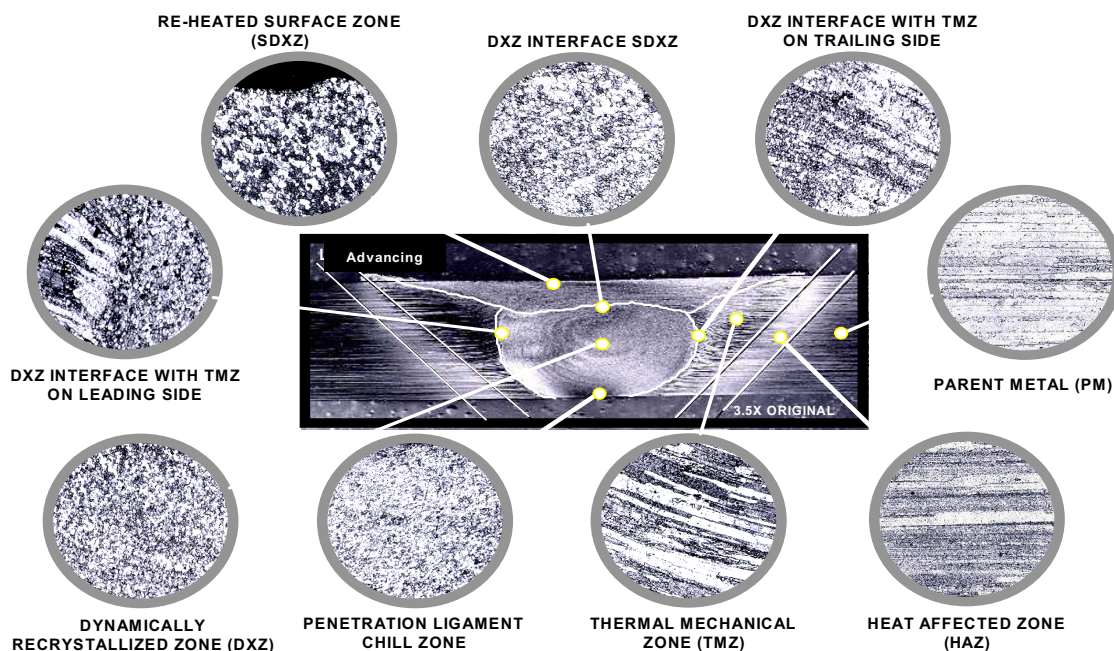


Obr. 6 Špeciálne nástroje pre FSW technológiu [3]
a) Whorl™ čap, b), c) Triflute™ čapy

Výber materiálov a realizácia zvarovania

Pre efektívne využitie technológie FSW a HFSW je potrebné riešiť nielen konštrukčné usporiadanie ale aj vhodnú voľbu zvaraného materiálu a zvarového spoja. Väčšina navrhovaných spojov sú tupé alebo preplátované. Pri FSW procese je možné spájať materiály v rôznych pozíciách (horizontálne, vertikálne, nad hlavou a orbitálne) [7].

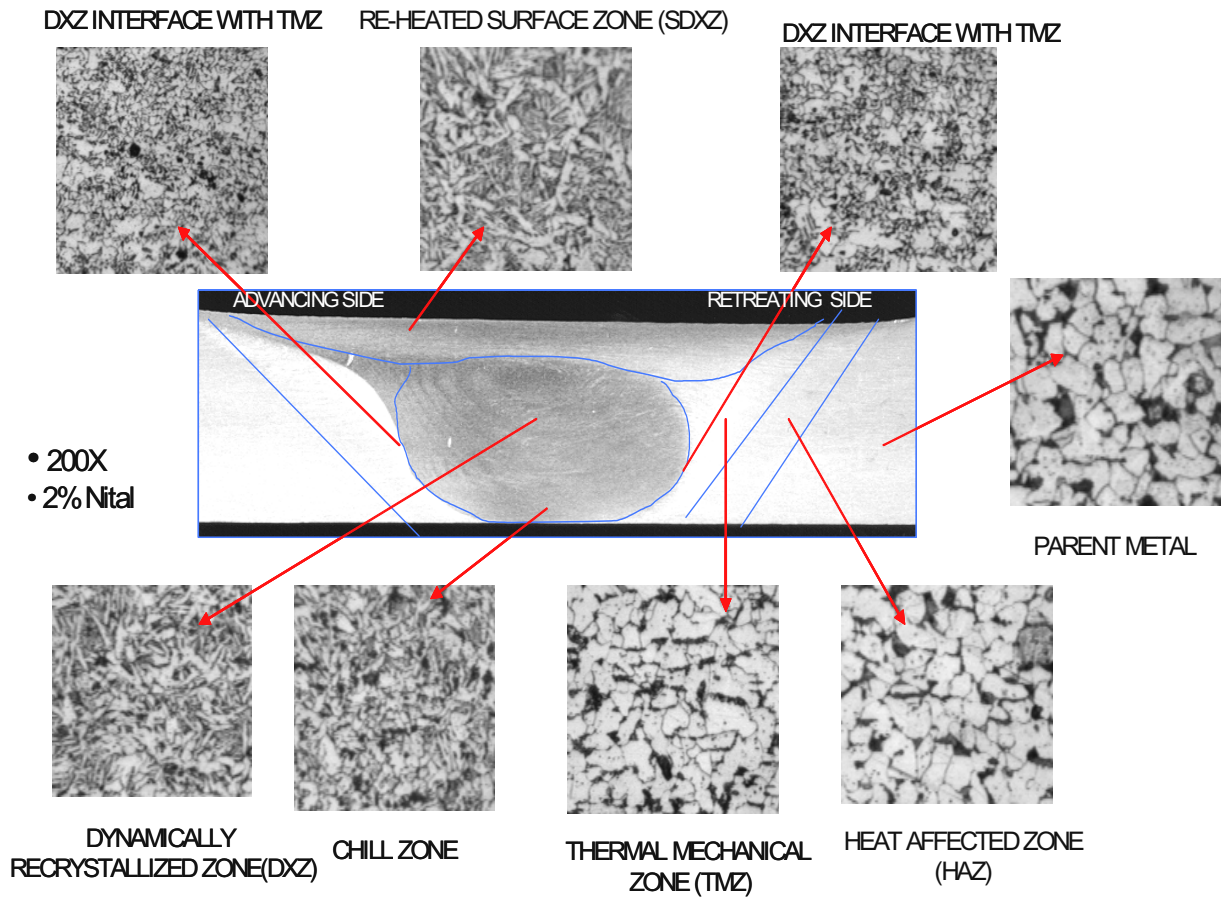
Pri orbitálnom hybridnom procese (zváranie rúr) sa prídavný ohrev iným zdrojom využíva tak na zlepšenie plastických vlastností zvaraných materiálov, ako aj pomalšie ochladzovanie a tým vytvorenie kvalitnejšieho zvarového spoja. Na obr. 7 je dokumentovaný štruktúrny stav zvarového spoja zliatiny 2195 AlLi.



Obr. 7 Štruktúrny stav zvarového spoja zliatiny 2195 AlLi [10]

Materiály na báze Al hrúbky od 1,6 do 30 mm možno zvärať na jeden prechod. Spoje bez chýb a s malými deformáciami možno vyhotoviť na viacerých Al zliatinách, vrátane takých, ktoré sú obtiažne zvariteľné klasickými technológiami tavného zvarovania. V literatúre sa tiež uvádza zváranie AlLi zliatiny, Pb, Cu, Mg a Ti.

Prekvapujúce v poslednom období je, že sa odskúšalo aj zváranie ocele (1018 Steel) metódou HFSW. Na obr. 8 je štruktúrna situácia zvarového spoja uvedenej ocele.



Obr. 8 Štruktúrna situácia zvarového spoja ocele 1018 Steel [10]

Štruktúrna situácia je charakterizovaná superpozíciou tvárnenia a tepelného spracovania [10].

Na obr. 9 (a, b) je vyobrazený detail zariadenia na robotizované zváranie metódou FSW a celkový pohľad na robotizované pracovisko FSW.



Obr. 9(a) Detail zariadenia na robotizované zváranie metódou FSW [16]



Obr. 9(b) Celkový pohľad na robotizované pracovisko FSW [16]

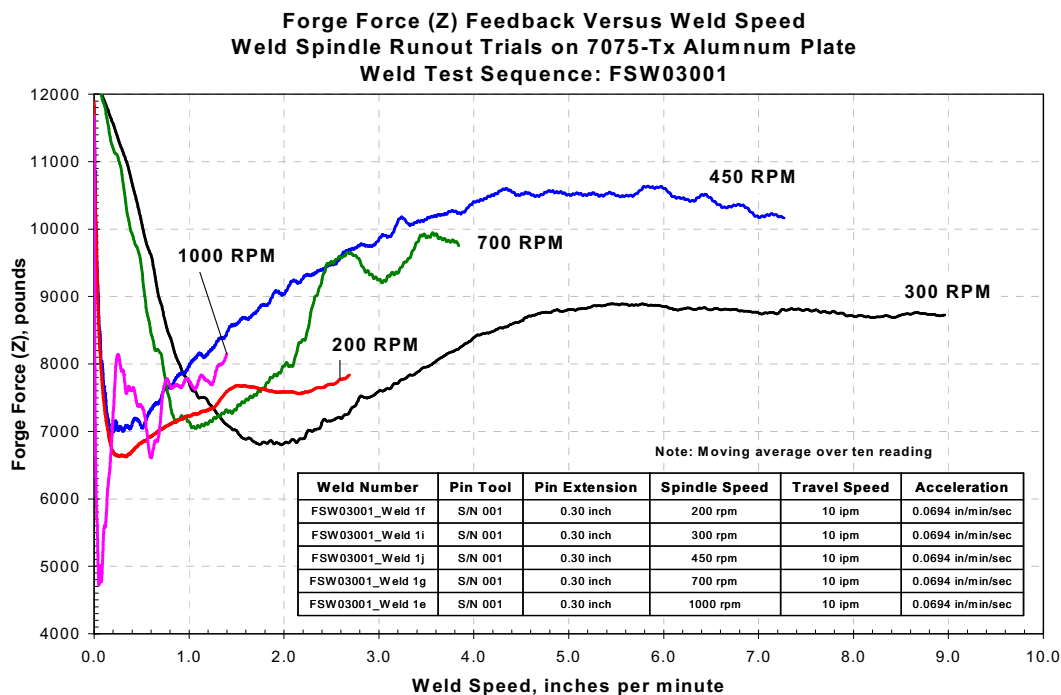
Kontrola kvality zvarových spojov

Kontrola kvality zvarov (materiálov na báze Al) sa vykonala na Katedre zvarovania MtF STU v Trnave.. Najprv sa vykonala vizuálna kontrola vzoriek v súlade s normami STN EN 25817 a STN EN 970. Ďalej sa vykonali mechanické skúšky a metalografické hodnotenie optickou mikroskopiou, doplnené o meranie mikrotvrdości cez rozhranie zvarového spoja. Skúška ťahom v priečnom smere zvaru sa vykonala na ťhacom stroji FPZ 100/1 na nenormalizovaných vzorkách rozmerov 60 x 18,5 x 3 mm. Rýchlosť posuvu priečnika bola 2,1 mm.min⁻¹. Skúška prebiehala pri teplote okolia a v súlade s normami STN EN 288-3.

Detailnejšie štúdium oblasti rozhrania zvar - základný kov, ako aj charakter lomových plôch sa analyzovali rastrovacím elektrónovým mikroskopom.

Konštatovalo sa, že zvarové húsenice sa skladajú z pravidelných koncentrických oválov, ktoré boli vytvorené v dôsledku rotácie a zároveň pohybu zvaracieho nástroja. Zvarové spoje nevykazovali žiadne poruchy súdržnosti.

Na obr. 10 je uvedený vplyv tvárniacej sily a rýchlosti otáčania nástroja na rýchlosť zvarovania dolu uvedeného Al.



Obr. 10 Vplyv tvárniacej sily a rýchlosti otáčania nástroja na rýchlosť zvárania Al [10]

Perspektíva v oblasti FSW a HFSW technológií

V súčasnosti sa technológia FSW dostatočne priemyselne využíva najmä v oblasti spájania Al a zliatin Al.

Hybridnými technológiami je zdá sa možné vyriešiť problémy so zváraním ďalších kovových materiálov a ich zliatin. K urýchleniu výskumu v tejto oblasti môže výrazne pomôcť simulácia procesu zvárania FSW, resp. HFSW.

Záver

Možno konštatovať, že technológie FSW a predovšetkým HFSW majú perspektívu ďalšieho uplatnenia v priemyselnej výrobe. Počíta sa s rozšírením sortimentu zváraných kovov a ich zliatin, vrátane kombinácie niektorých z týchto materiálov.

Uvedené technológie budú profitovať predovšetkým z toho, že sa zvárané kovy netavia a tým odpadajú problémy spojené s liacou štruktúrou.

Kovy s vysokou afinitou ku kyslíku sa môžu zvärať aj v inertných atmosférach, čím sa ešte viac zvýši kvalita takýchto zvarov.

K rýchlejšim riešeniam zvariteľnosti a tým aj úžitkových vlastností zvarových spojov určených pre FSW a HFSW zváranie pomôže počítačová simulácia týchto technologických procesov.

Literatúra

- [1] Turňa, M., Kovačócy, P.: Zváranie laserovým lúčom, STU Bratislava 2003, ISBN 802271921-8
- [2] <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/FSW/aaa.html>
- [3] Friction Stir Welding of Copper Canisters for Nuclear Waste Licentiate Thesis by Therese Källgren Stockholm, Sweden 2005 Department of Materials Science and Engineering Royal Institute of Technology (KTH) S-100 44 Stockholm, Sweden.
- [4] www.industrialheating.com
- [5] Friction Stir Welding of Advanced Materials: Challenges, November 19, 2004 Graz, Austria-internetový dokument.
- [6] http://www.eclipseaviation.com/about_eclipse/innovations/friction_stir_welding
- [7] Modeling of Friction Stir Welding Process for Fusion Energy Applications, G. Aramayo, B. Radhakrishnan, S. A. David, G. Sarma and S. S. Babu (Oak Ridge National Laboratory) internetový dokument.
- [8] L.E. Svennson, L. Karlsson, H. Larsson.: Microstructure and mechanical properties of friction stir welded aluminium alloys with special reference to AA 5083 and AA 6082, Science and Technology of Welding and Joining 2000, Vol. 5, No. 5.
- [9] Taraba, B.: Prednášky pre doktorandov z oblasti simulácie technologických procesov. Katedra aplikovanej mechaniky, MtF STU Trnava, 2005.
- [10] <http://ampcenter.sdsmt.edu/papers> - internetový dokument 2006
- [11] A. HEINZ ET AL., *Recent development in aluminium alloys for aerospace applications*, Materials science & engineering A280, 2000, pp. 102-107.
- [12] A.P. REYNOLDS, T.U. SEIDEL AND M. SIMONSEN, *Visualization of material flow in an autogenous friction stir weld*, Proceeding of first international friction stir welding symposium, Thousand Oaks, USA, 14-16 June 1999.
- [13] E. MARZINOTTO, *Friction Stir welding delle leghe AA2024 -T351 e AA6056-T4: Analisi della zona disaldatura*, Thesis on Materials Engineering of the University of Trieste, 2003.
- [14] S. MAGGIOLINO, *Saldature di leghe AA6xxx : FSW, FSW+TIG, MIG resistenza a corrosione e stress residui indotti*, Thesis on Materials Engineering of the University of Trieste, 2004.
- [15] www.twi.co.uk. The Welding Institute official web site.
- [16] <http://www.iws.tugraz.at>

Kontakt:

Ing. Roman Pauliček, PhD.
Alcredo, s.r.o.
Trnava