



Friction Stir Welding European Qualifications

Operátor



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

1. Základy FSW metódy

1.1 – Úvod do FSW

1.1 – – Úvod do FSW

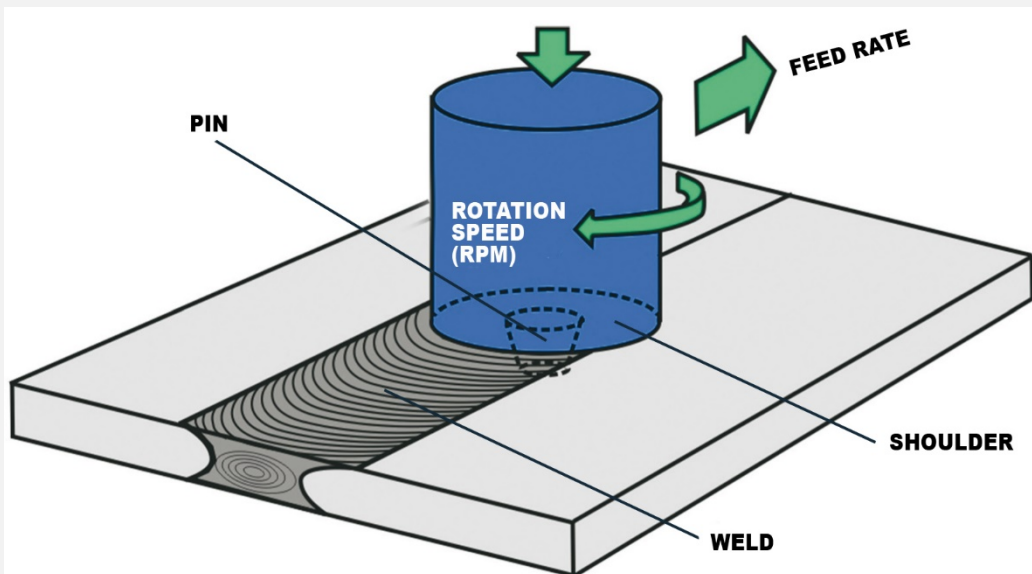
Trecie zváranie s premiešaním (FSW)

- Je metódou spájania materiálu, kde sa dva alebo viac dielcov spojí trecím ohrevom a premiešaním materiálu v splastizovanom stave spôsobenom netaviacim sa rotujúcim nástrojom, ktorý sa posúva pozdĺž zvaru.

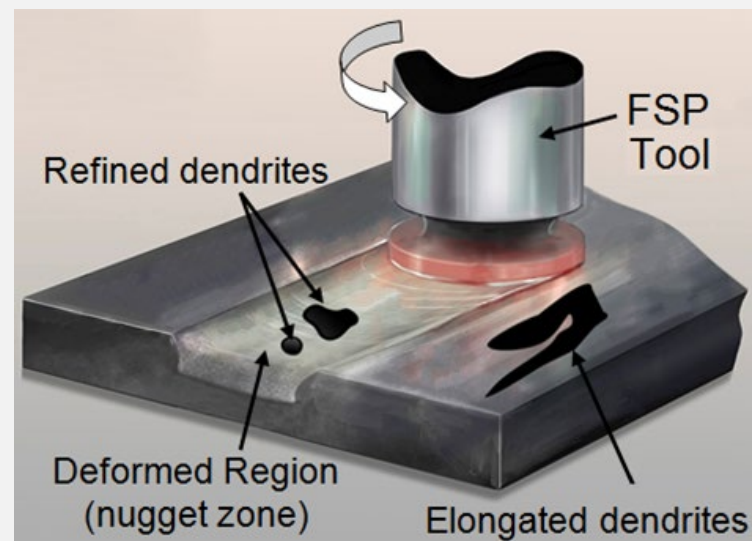
Spracovanie trením s premiešaním (FSP)

- je jednou z variácií FSW metódy.
- FSW proces lokálne mení mikroštruktúru a vlastnosti oblasti spoja.
- Pri spracovaní trením s premiešaním sa FSW proces aplikuje na celý kus materiálu. Nástroj sa zasunie a posúva tam a späť, čím mení vlastnosti materiálu.

1.1 – Úvod do FSW metódy

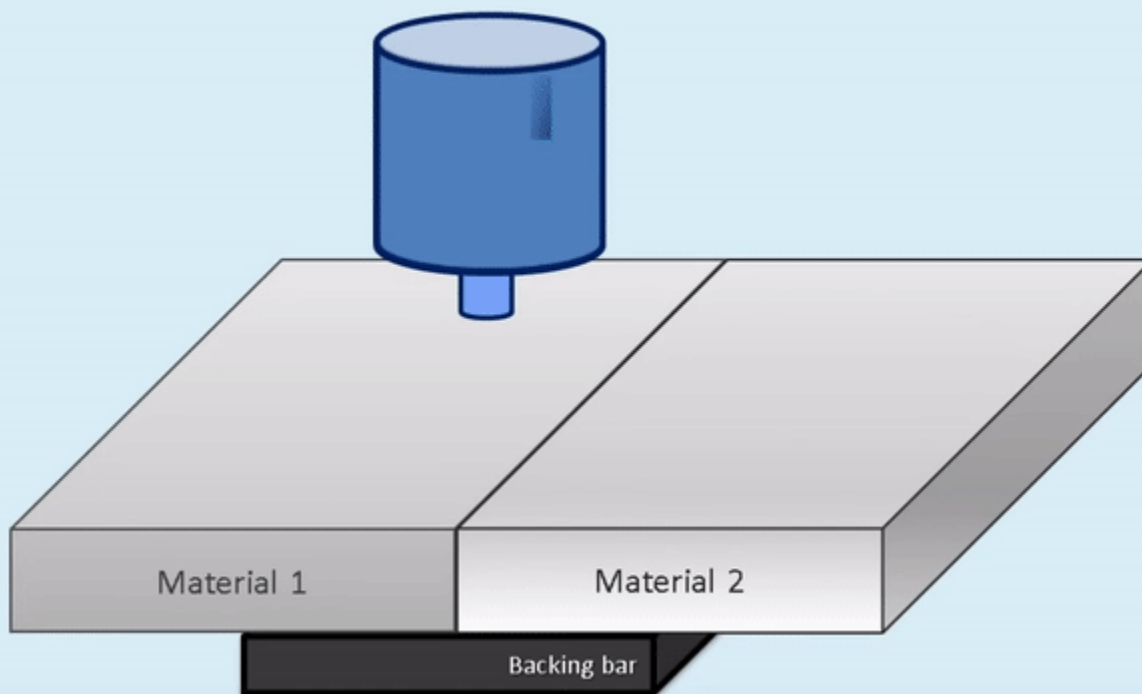


Zváranie trením s premiešaním (FSW)



Spracovanie trením s premiešaním (FSP)

1.1 – Úvod do FSW metódy



1.1 – Úvod do FSW metódy

Metalurgické výhody:

- Metóda spájania v tuhom stave,
- Malé deformácie,
- Vysoká rozmerová stabilita a opakovateľnosť,
- Bez straty legujúcich prvkov,
- Vynikajúce mechanické vlastnosti spoja,
- Jemná rekryštalizovaná štruktúra,
- Bez výskytu kryštalizačného praskania.

1.1 – Úvod do FSW metódy

Environmentálne výhody:

- Nevyžaduje ochranný plyn,
- Vyžaduje minimálnu úpravu povrchu,
- Eliminuje straty obrúsením,
- Eliminuje rozpúšťadlá a odmasťovače,
- Úspory na prídavných materiáloch,
- Absencia škodlivých emisií.

1.1 – Úvod do FSW metódy

Energetické výhody:

- Znižuje spotrebu energie v porovnaní so zváraním laserom,
- Minimalizovaná váha spoja vedie k úsporám paliva pri automobilových, lodných a leteckých aplikáciách
- Zníženie váhy má za následok zlepšené využitie materiálu.

1.1 – Úvod do FSW metódy

Nevýhody FSW metódy:

- Počas štádia ponorenia dochádza k značnému opotrebovaniu nástroja
- Rýchlosť zvarovania pri jednoprechodových zvaroch niektorých zliatin je nižšia ako pri niektorých oblúkových metódach
- Zariadenie používané pri FSW metóde je masívne a drahé v dôsledku vysokých zvaracích síl
- Materiály s vysokým bodom tavenia, ako sú ocele a nehrdzavejúce ocele kladú vysoké nároky na zvarací nástroj
- Absencia prídavného materiálu spôsobuje, že túto metódu nemožno jednoducho aplikovať pri vyhovovaní kútových zvarov
- Výskyt výstupnej dierky po aplikácii konvenčnej FSW metódy.

1.1 – Úvod do FSW metódy

FSW možno použiť v nasledovných odvetviach:

- Lodiarstvo a morské konštrukcie
- Automobilový priemysel
- Železnice
- Letectvo
- Výrobný priemysel
- Ostatné (energetika, ťažba ropy a plynu, jadrový priemysel, stavebníctvo)

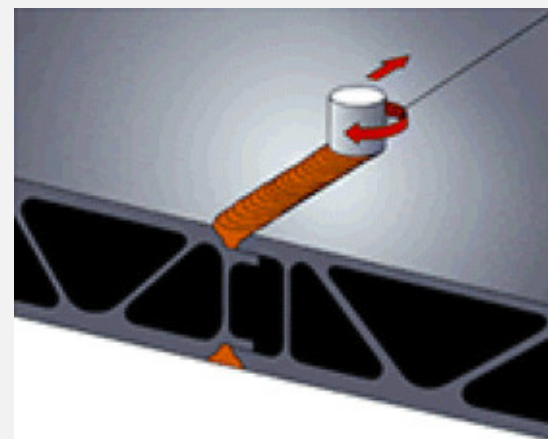
1.1 – Úvod do FSW metódy

V **železničnej doprave** ju možno využiť najmä pri výrobe panelov pre koľajové vozidlá

1.1 – Úvod do FSW metódy



Železnice – automatické zváranie pretláčaných panelov



Zváranie pretlačeného profilu

1.1 – Úvod do FSW metódy

V automobilovom priemysle možno túto metódu použiť na:

- kryty,
- nádrže,
- závesy,
- piesty,
- disky kolies,
- prívesy.

1.1 – Úvod do FSW metódy

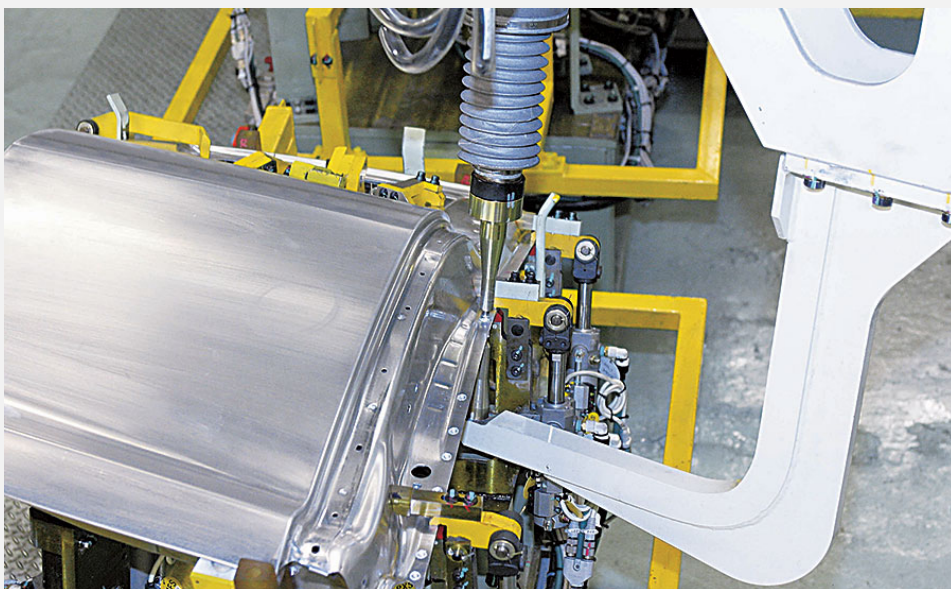


Automobilka – výroba diskov kolies



Robotické FSW panela karosérie

1.1 – Úvod do FSW metódy

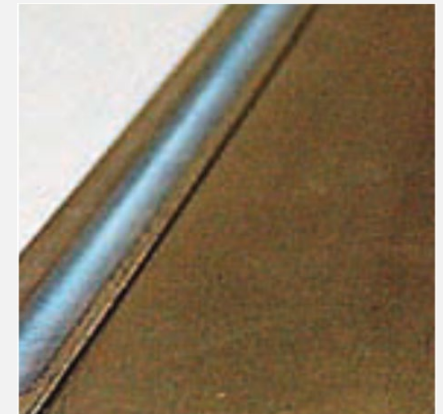


Bodové trecie zvaranie s premiešaním



Spájanie nerovnakých kovov

1.1 – Úvod do FSW metódy



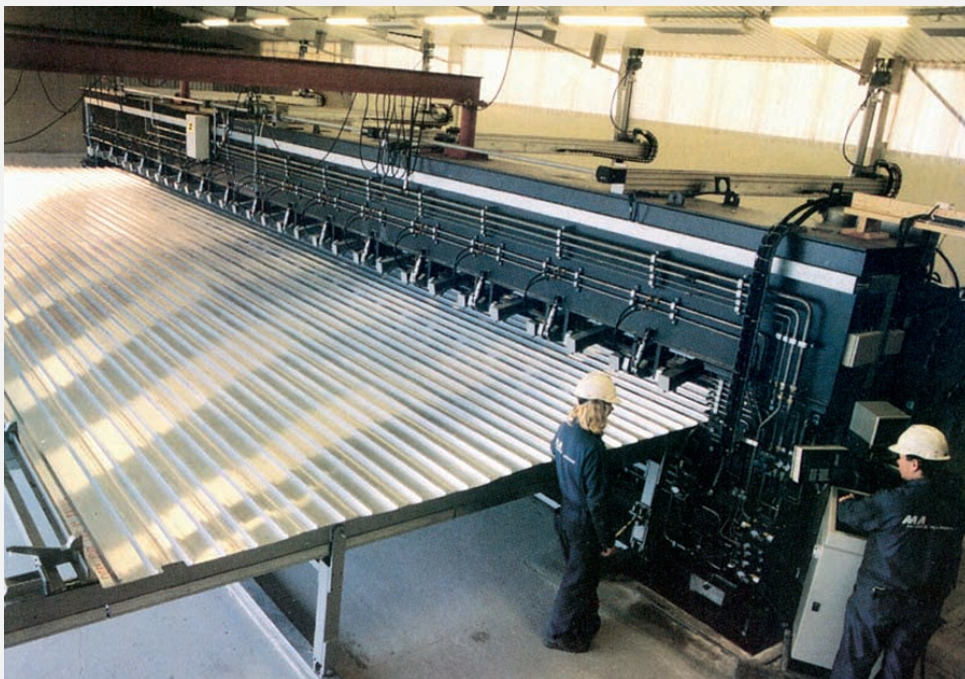
Možné aplikácie FSW v automobilke: kombinovaný spoj medzi dvomi rôznymi hrúbkami, preložený tesniaci zvar a preplátovaný spoj.

1.1 – Úvod do FSW metódy

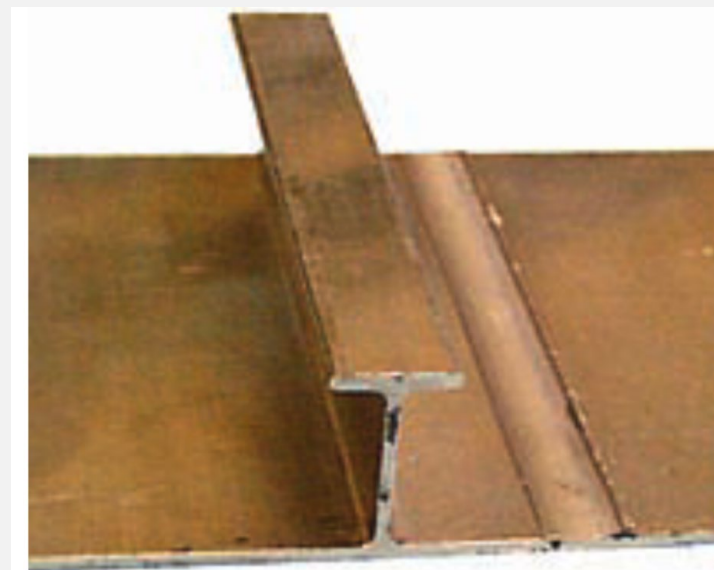
V **lodiarstve** možno túto metódu použiť na:

- Hliníkové panely na hlboké mrazenie na rybárskych lodiach,
- Spájanie pretláčaných výrobkov do panelov pre paluby a priečky,
- Voštinové panely,
- Panely odolné morskej vode.

1.1 – Úvod do FSW metody



Lodiarstvo – velký FSW panel



Panel zvarný FSW metódou

1.1 – Úvod do FSW metódy

V architektúre a stavbárstve možno túto metódu využiť na:

- Podlahy
- Chodníky
- Prechody
- Steny
- Markízy
- Zastrešenia
- Závesné systémy
- Podpery

1.1 – Úvod do FSW metódy



Výstavba – klenba vyhotovená FSW metódou



Prechodová lávka a zastrešenie

1.1 – Úvod do FSW metódy

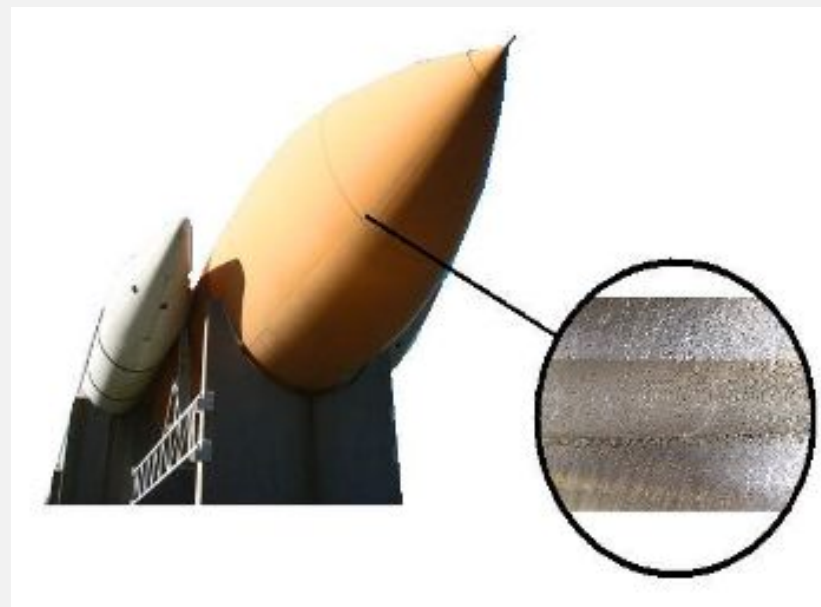
Túto metódu možno v **leteckom priemysle** využiť na:

- Palivové nádrže pre kozmické lode
- Príchytky nakladacích rámp
- Hliníkové panely
- Sendvičové zostavy
- Kryty pristávacieho podvozku
- Trupy lietadiel
- Krídla

1.1 – Úvod do FSW metódy



Letecký priemysel – panely lietadla



Palivová nádrž rakety

1.1 – Úvod do FSW metódy

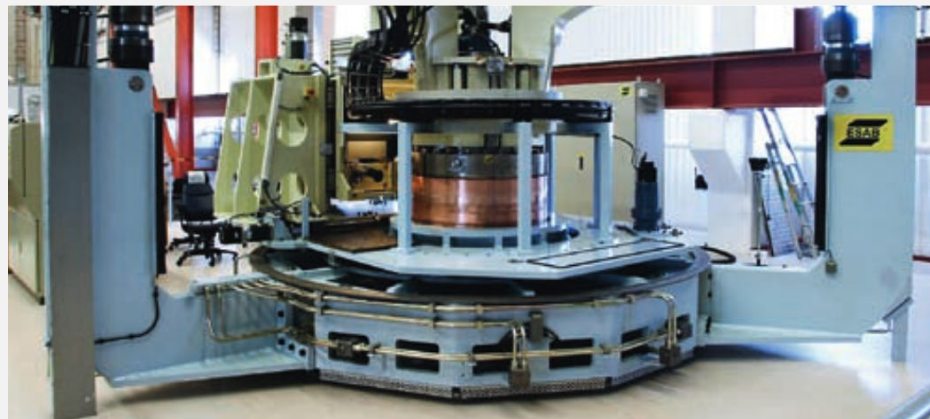
Túto metódu možno použiť tiež na:

- Skrine motorov a reproduktorov
- Chladiče
- Systémy na kúrenie, ventiláciu a klimatizáciu
- Vákuové nádoby
- Sušiacie podnosy – v potravinárstve
- Medené nádrže na jadrový odpad

1.1 – Úvod do FSW metódy

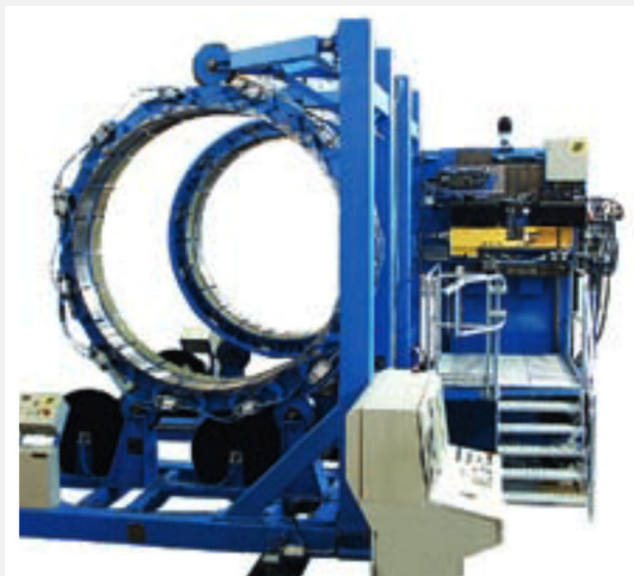


1.1 – Úvod do FSW metódy

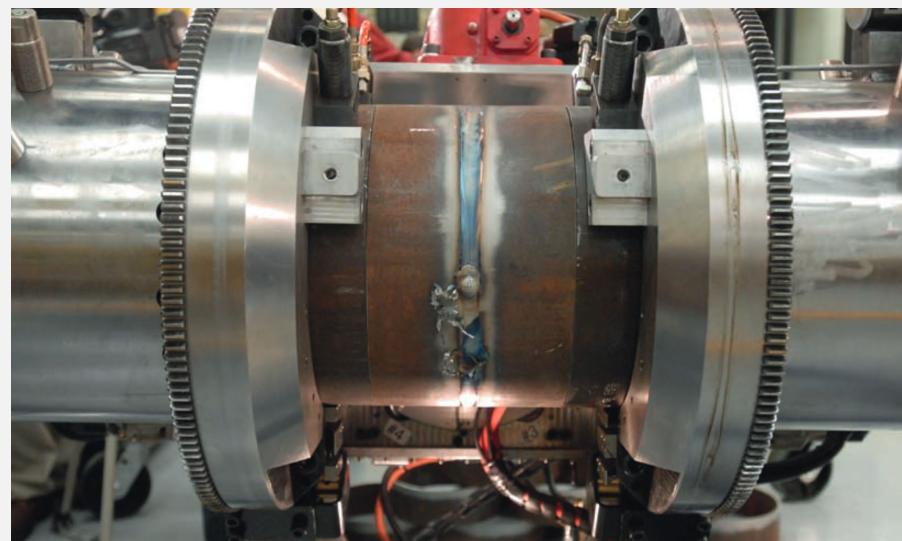


Jadrový priemysel – Medené puzdro s liatinovou vložkou na jadrové palivo zvarené FSW metódou

1.1 – Úvod do FSW metódy



Stroj na obvodové zváranie

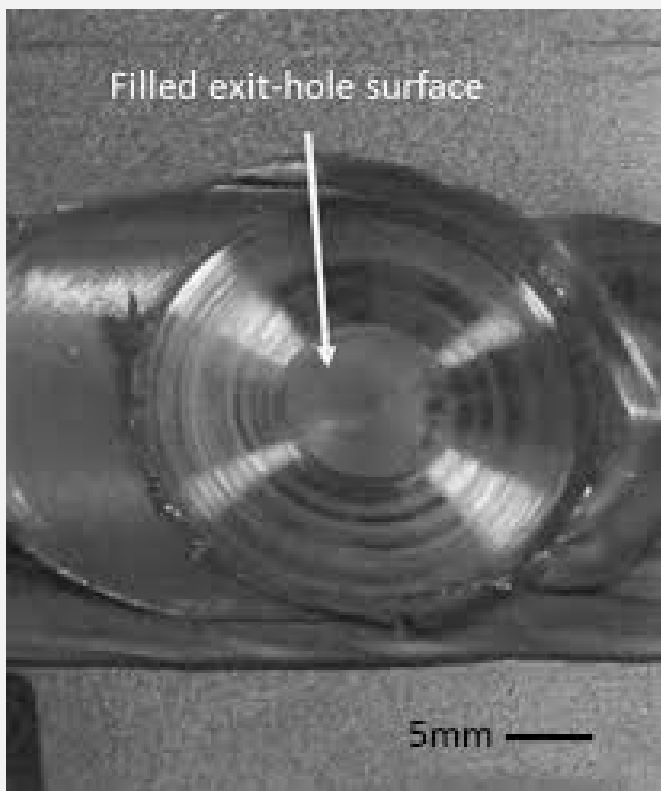


Orbitálne trecie zváranie ocelevej rúry

1.1 – Úvod do FSW metódy



1.1 – Úvod do FSW metódy



Vyplnený povrch výstupnej diery

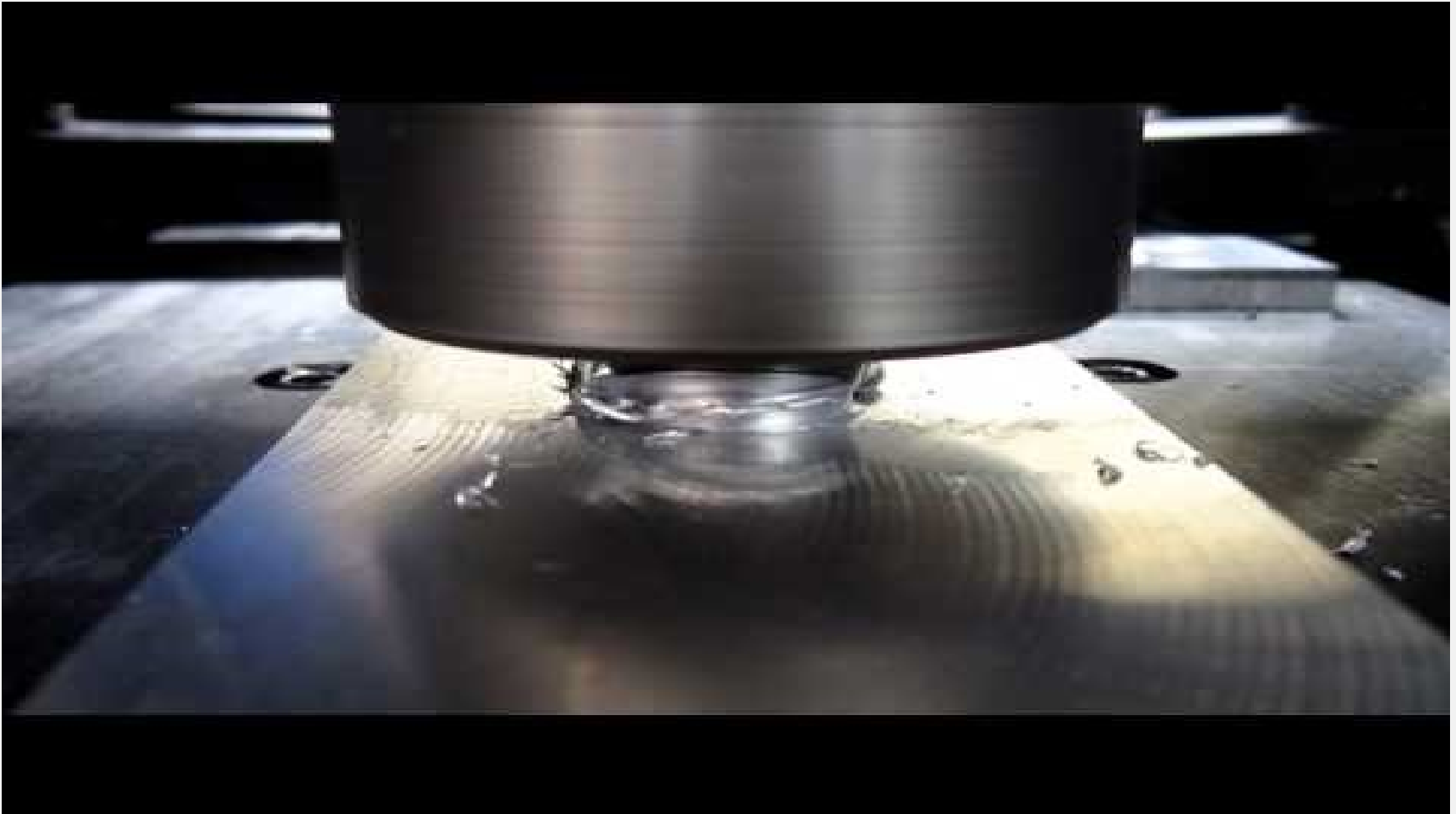


Výstupné diery tandemového FSW

1.1 – Úvod do FSW metódy



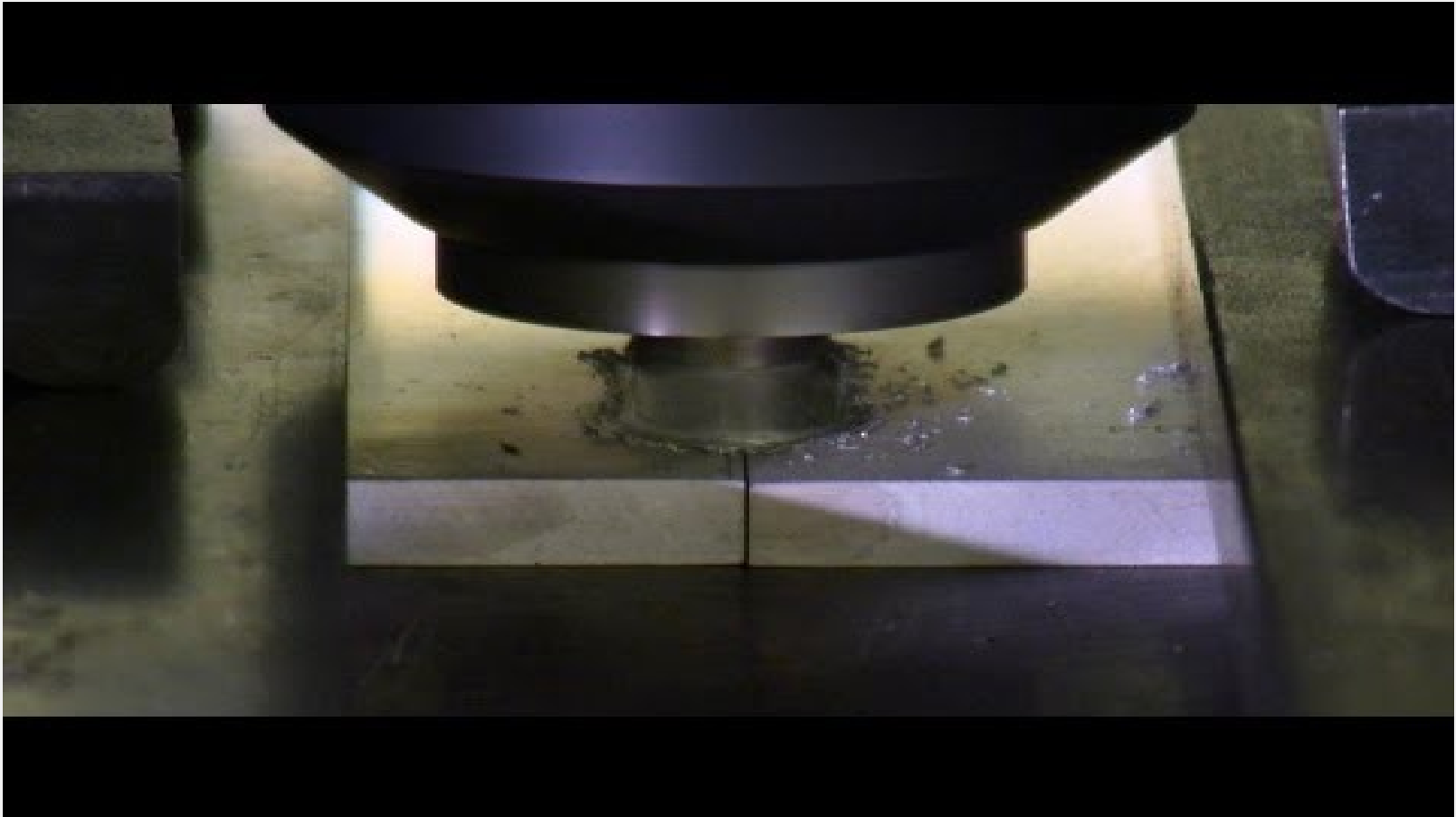
1.1 – Úvod do FSW metódy



1.1 – Úvod do FSW metódy



1.1 – Úvod do FSW metódy

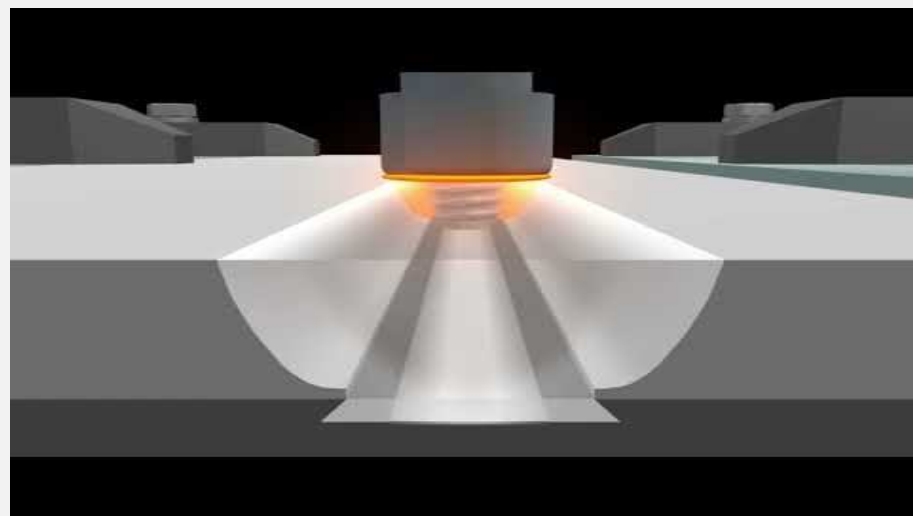
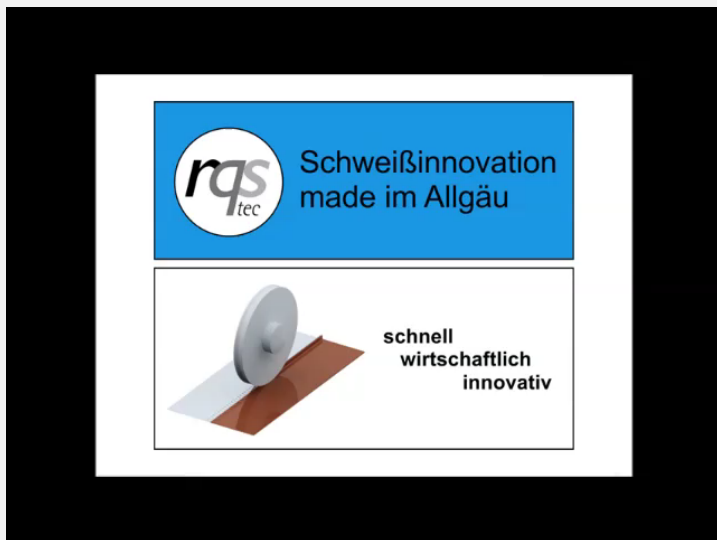


1.1 – Úvod do FSW metódy

Vyvinuté na základe trecieho zvarovania s premiešaním



Trecie roztláčacie zvarovanie (nem. Reibquetschschweißen) Trecie miešacie spojovanie



1. Základy FSW metódy

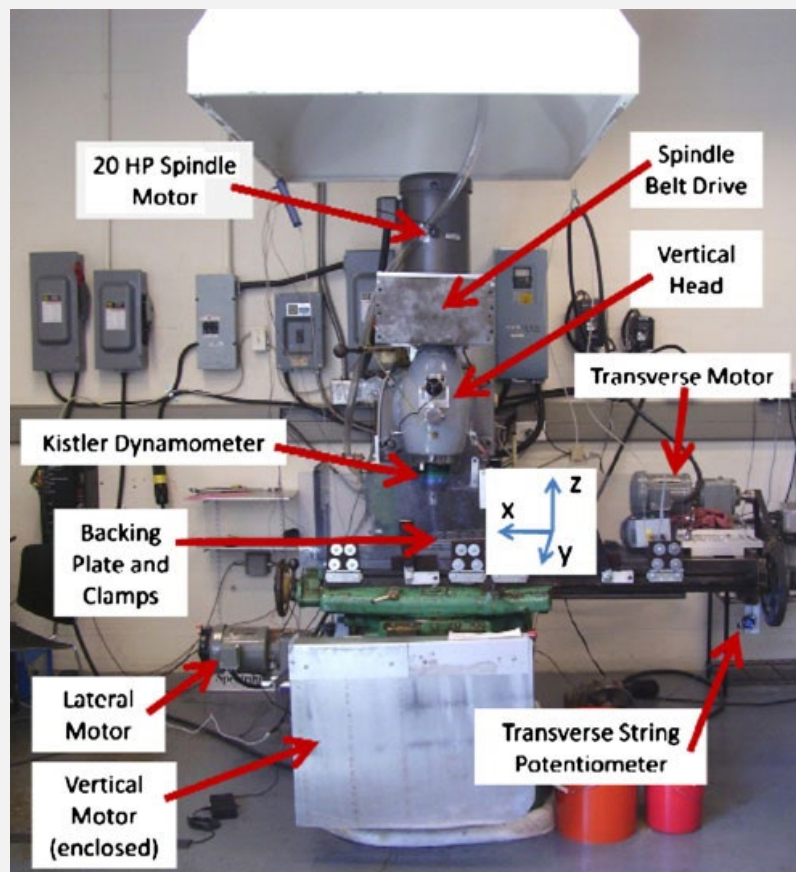
1.2 – Zváracie zariadenie

1.2 – Zváracie zariadenie

K základným súčastiam systému patria:

- hriadeľ,
- motory,
- mechanizmus motorového pohonu,
- FSW nástroj.

1.2 – Zváracie zariadenie



Príklad konfigurácie FSW systému

1.2 – Zváracie zariadenie

K ďalším systémom, ktoré možno zahrnúť ku stroju patrí :

- CNC riadenie,
- Výrobné monitorovanie,
- Monitorovanie teploty zvaru,
- Sledovanie spoja,
- Plynová ochrana,
- Strojné upínanie,
- Systém získavania údajov,
- Výškové snímanie.

1.2 – Zváracie zariadenie

Konvenčné obrábacie stroje:

- Nízke počiatkové náklady
- Flexibilitu možno zlepšiť použitím prídavných motorov (dodatočné stupne slobody - DOF)
- Tuhosť stroja – potrebuje spevnenie
- Vyžaduje sa riešenie pre riadenie sily na prevenciu poškodenia zariadenia, zabezpečenie bezpečnosti obsluhy a dosahovanie vysokej kvality zvarov.

Frézka upravená pre FSW metódu



1.2 – Zváracie zariadenie

Robotické FSW stroje:

- Vysoká reprodukovateľnosť a pružnosť
- Pomerne nízke náklady
- Zváranie po 3D trajektóriách
- Automatizácia procesu

- Nízka presnosť, ktorá sa zhoršuje ak sú vystavené vysokému zaťaženiu
- Pomerne nízka tuhosť a priemerná únosnosť

Robot s kĺbovým ramenom



1.2 – Zváracie zariadenie

Robotické FSW stroje:

- Podporujú vyššie záťaže
- Podstatne vyššia tuhosť ako pri robotoch s kĺbovým ramenom
- Zváranie po 3D trajektóriách
- Automatizácia procesu

- Ich cena je podstatne vyššia a ich pracovný dosah je podstatne menší ako pri robotoch s kĺbovým ramenom

Paralelne-kinematický robot

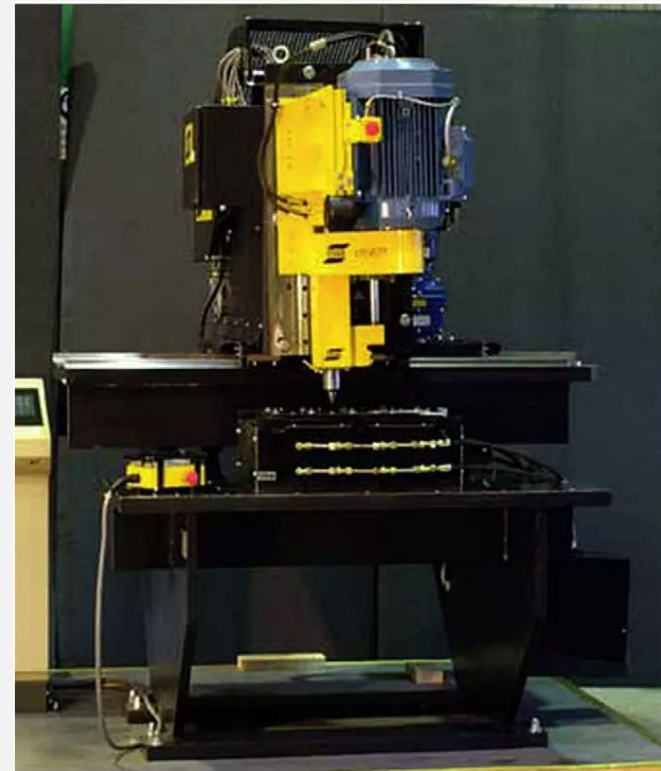


1.2 – Zváracie zariadenie

Jednoúčelové FSW stroje:

- Vysoká únosnosť, tuhosť, presnosť a dostupnosť
- Možné rôzne konfigurácie, čím sa zvyšuje úroveň flexibility
- Jednoúčelové FSW stroje sú najrobustnejšie a konštrukčne najtuhšie stroje (na zváranie materiálov s vysokým bodom tavenia)
- Dost' drahé a ich cena narastá so zvyšovaním flexibility

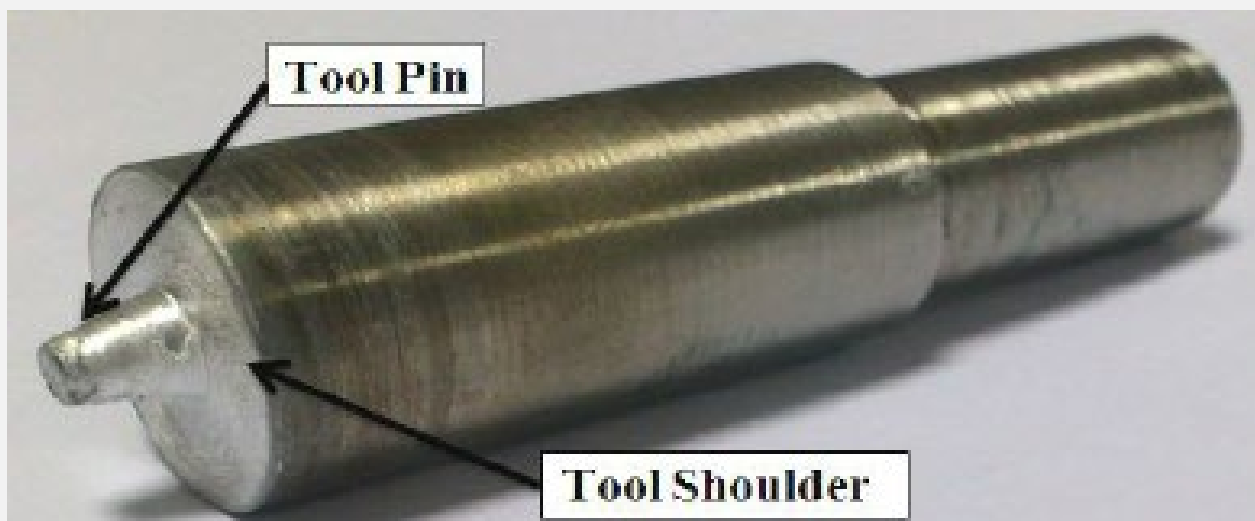
Jednoúčelový FSW stroj



1.2 – Zváracie zariadenie

	Frézka	FSW stroj	Paralelný robot	Kĺbový robot
Flexibilita	Nízka	Nízka/stredná	Vysoká	Vysoká
Cena	Stredná	Vysoká	Vysoká	Nízka
Tuhosť	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Nízka
Pracovný dosah	Stredný	Stredný	Nízky	Vysoký
Čas nastavenia	Nízky	Vysoký	Stredný	Stredný
Počet programovateľných volieb	Nízky	Stredný	Vysoký	Vysoký
Kapacita na výrobu zložitých zvarov	Nízka	Stredná	Vysoká	Vysoká
Typ riadenia	Pohybové	Pohybové/silové	Pohybové	Pohybové

1.2 – Zváracie zariadenie



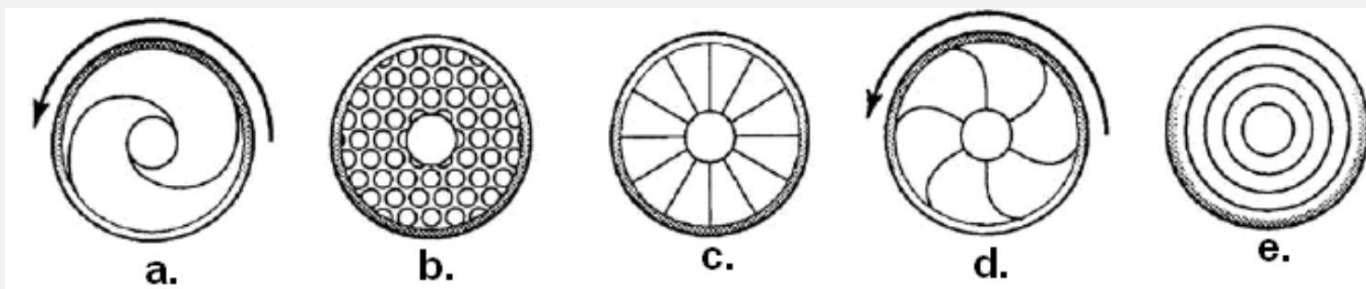
Príklad geometrie nástroja

1.2 – Zváracie zariadenie



Rôzne typy geometrie hrotu

1.2 – Zváracie zariadenie



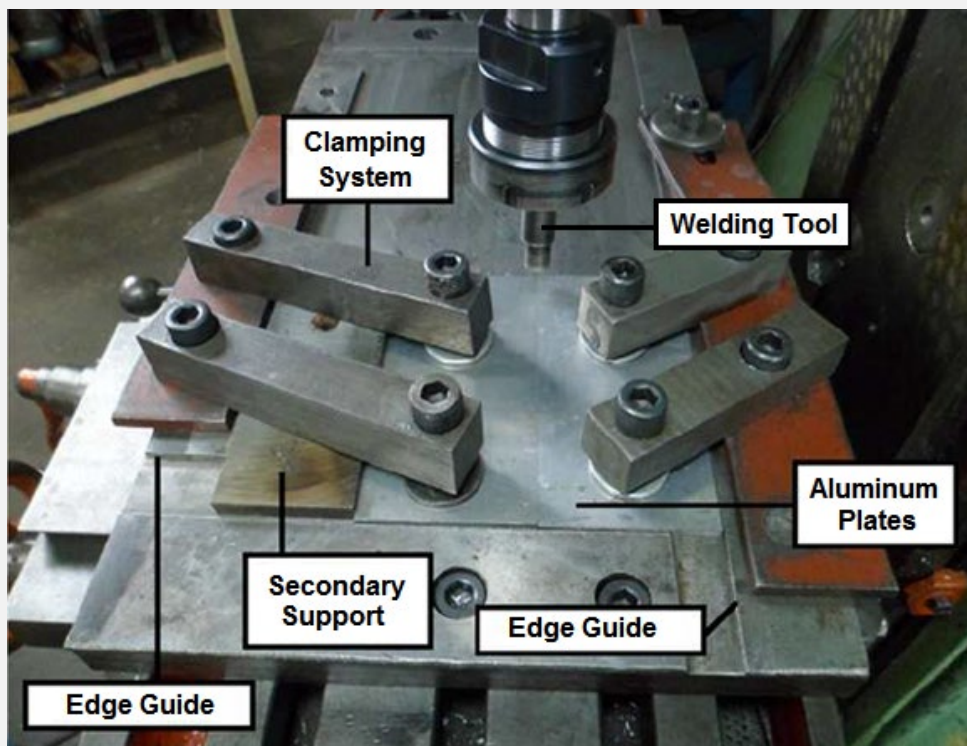
Rôzne typy ramena (hore) a príklad konvexného a špirálového ramena (dole)

1.2 – Zváracie zariadenie

Bežné upínacie systémy zahŕňajú:

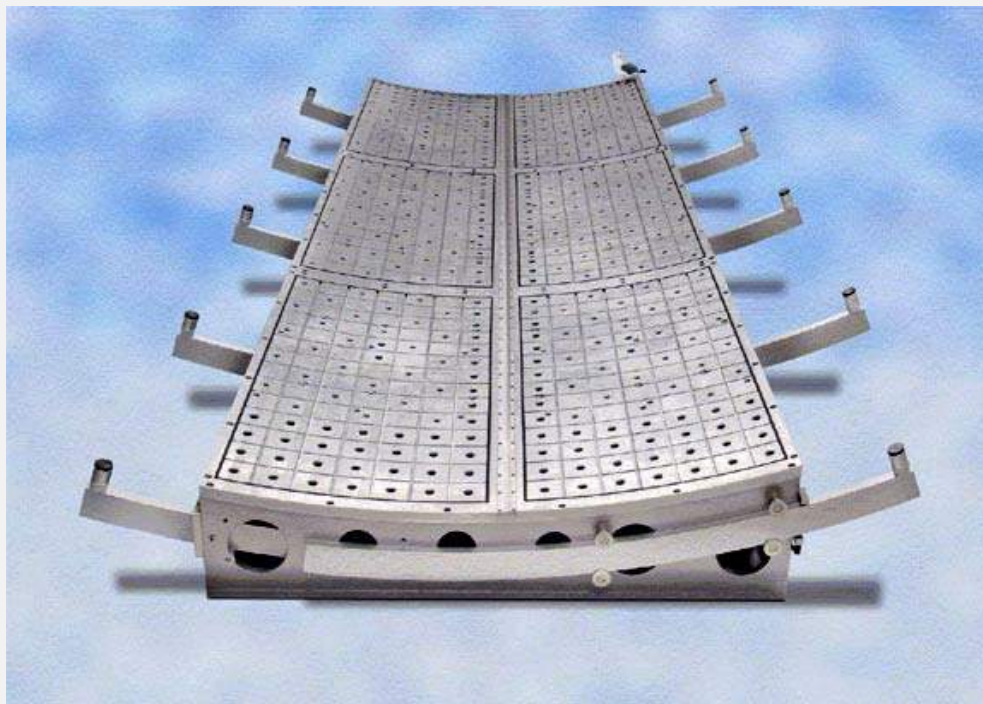
- Upínacie čeluste,
- Hydraulické a pneumatické systémy,
- Vákuové upínacie systémy.

1.2 – Zváracie zariadenie



Upínací systém

1.2 – Zváracie zariadenie



Vákuový upínací systém

1.2 – Zváracie zariadenie

Chladením zdokonalené FSW:

- Vodné
- S kvapalným CO₂
- S kvapalným dusíkom

- Oceľ, titán, nehrdzavejúca oceľ a vysokoteplotné zliatiny sa zvárajú FSW metódou s chladivom ochladzovanými nástrojmi

Ohrev:

- FSW s elektrickým ohrevom
- FSW s podporou lasera
- FSW s podporou oblúka
- FSW s podporou ultrazvuku

- Ohrev môže minimalizovať opotrebovanie nástroja (najmä pri ponáraní) a zvýšiť rýchlosť posuvu nástroja

1.2 – Zváracie zariadenie

K hlavným súčastiam FSW stroja patrí:

- Zváracia hlava a jej motor,
 - Vodiace koľaje a ich súčasti,
 - Hydraulické jednotky.
-
- Plány údržby a kontroly ako aj úplná dokumentácia majú zabezpečiť dlhodobú a bezproblémovú prevádzku zariadenia

1. Základy FSW metódy

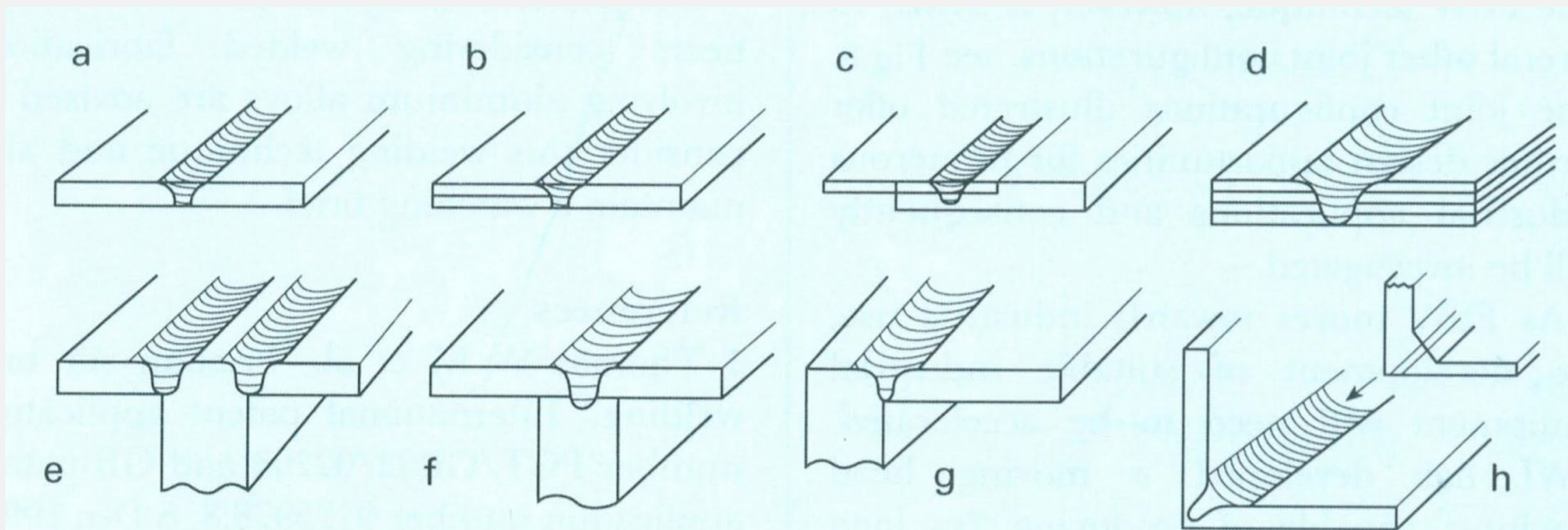
1.3 – Zváracie metódy

1.3 – Zváracie metódy

Implikácie návrhu pri FSW:

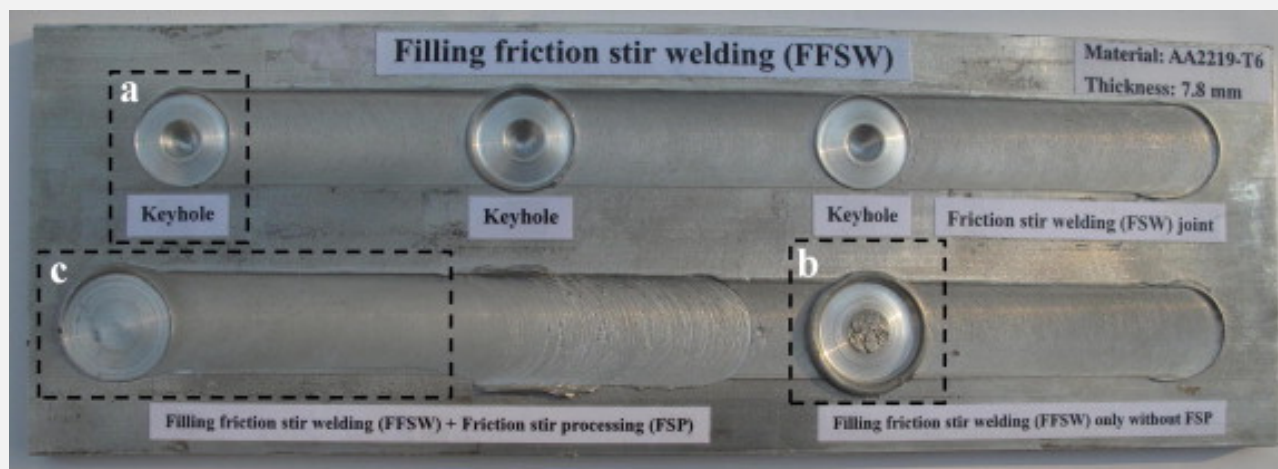
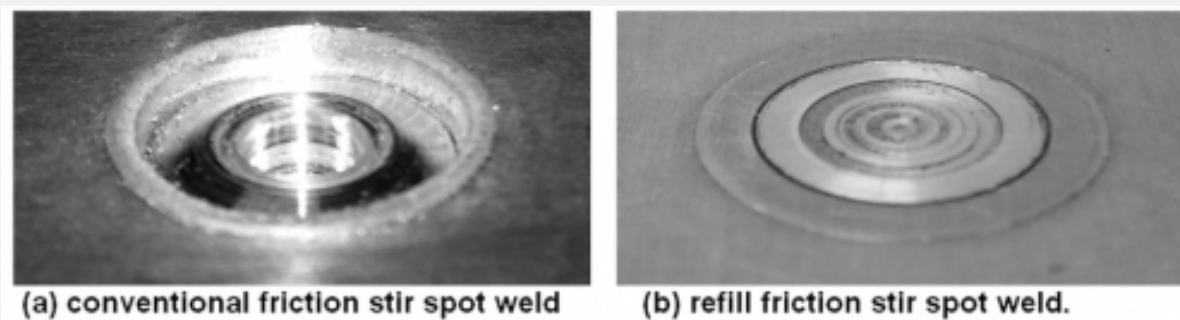
- Mechanické obmedzenia
- Obmedzenia upnutia
- Obmedzenia návrhu spoja
- Obmedzenia kľúčovej dierky
- Obmedzenia obrobku a hrúbky základného materiálu
- Materiál

1.3 – Zváracie metódy



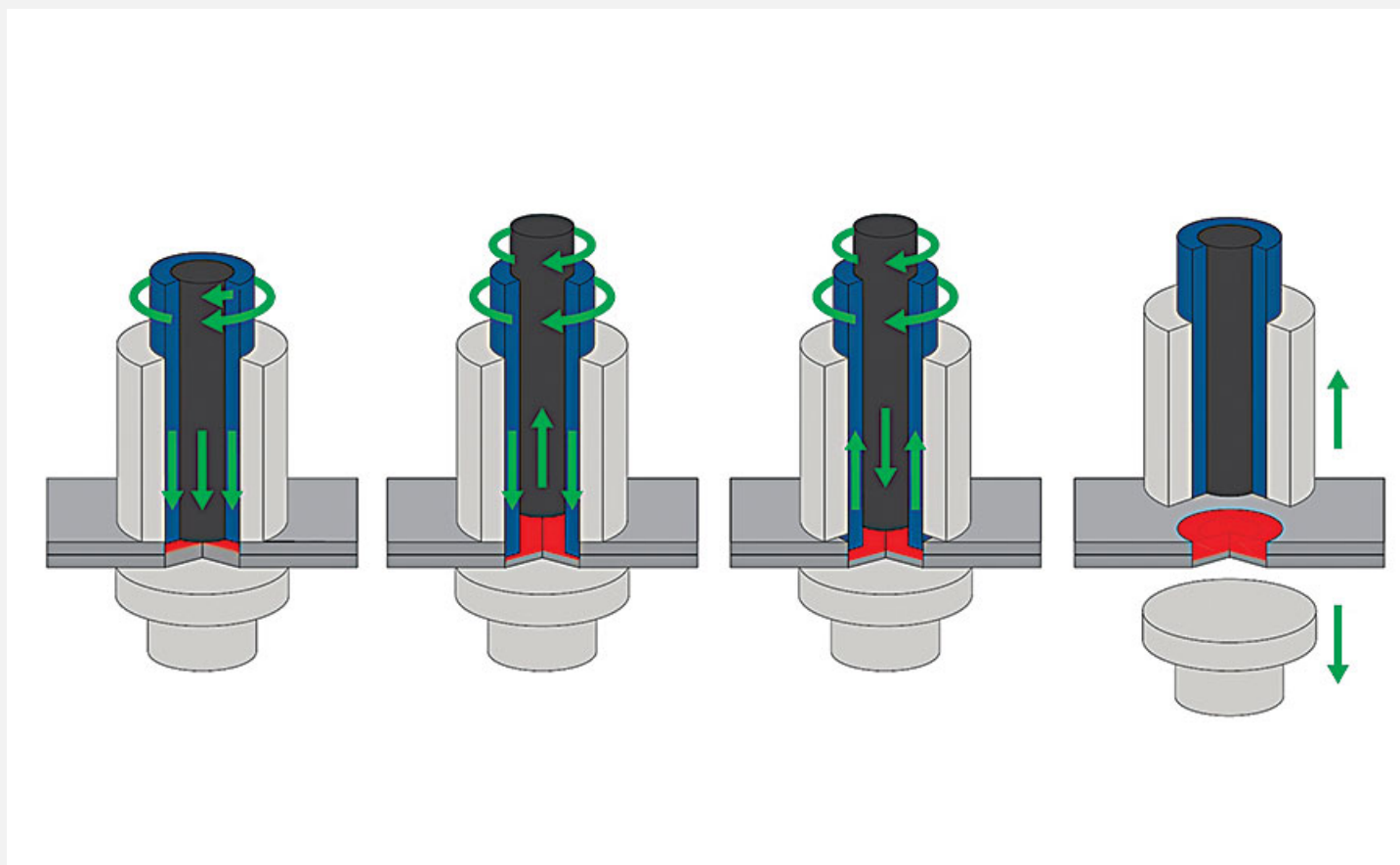
Možné konfigurácie spoja: (a) rovný tupý ; (b) a (c) preplátovaný spoj; (d) viacnásobný preplátovaný spoj; (e) tupý T spoj; (f) preplátovaný T spoj; (g) rohový tupý; (h) kútový

1.3 – Zváracie metódy



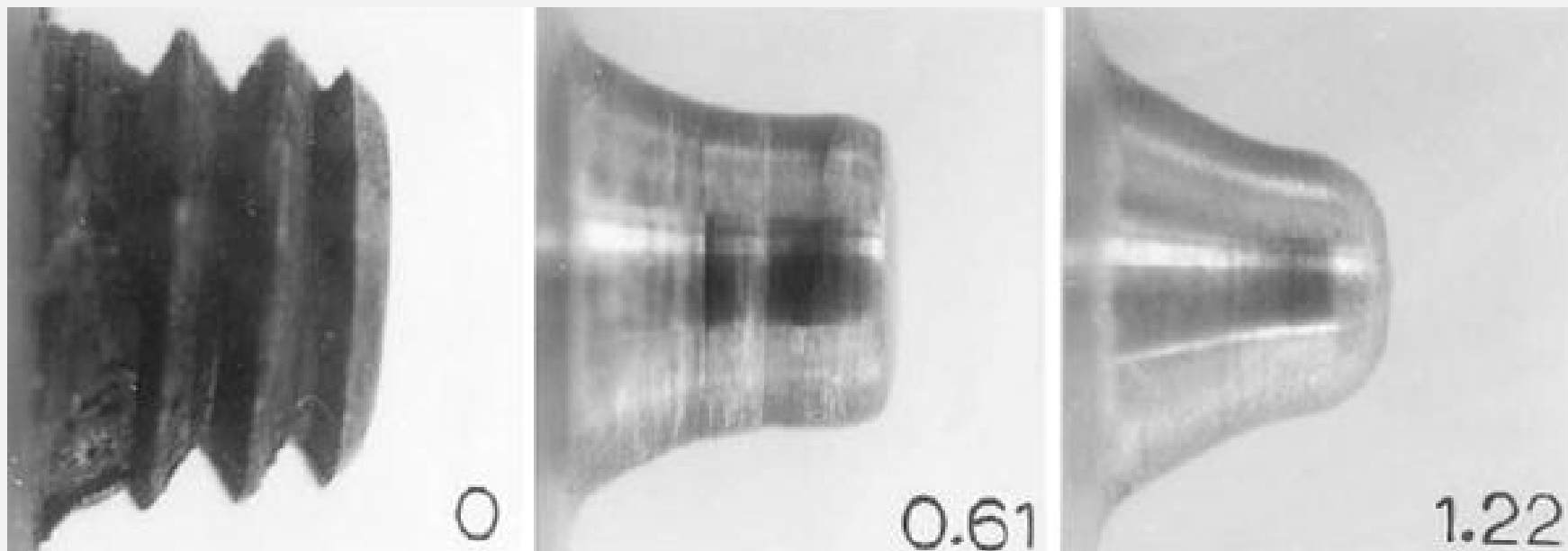
Vyplnenie kľúčovej dierky

1.3 – Zváracie metódy



Vypíňacia FSW metóda

1.3 – Zváracie metódy



Opotrebovanie nástroja

1. Základy FSW metódy

1.4 – Základné materiály

1.4 – Základné materiály

- FSW metódu možno použiť na spájanie materiálov ako je hliník, meď, horčík, oceľ, termoplasty a titán.
- Umožňuje taktiež zváranie nerovnorodých materiálov.
- Zváranie materiálov s vysokou teplotou tavenia je náročnejšie, pretože materiál zváracieho nástroja pracuje vo veľmi drsných pracovných podmienkach.

1.4 – Základné materiály

- Tuhosť a zvládanie síl sú hlavnými faktormi FSW stroja, ktoré limitujú hrúbku obrobku. Hrúbka materiálu ma byť v rozmedzí od 0,8 mm do 65 mm.

Materiál	Hrúbka, mm	Materiál nástroja
Hliníkové zliatiny	<12	Nástrojová oceľ, WC-Co
	<26	MP159
Horčíkové zliatiny	<6	Nástrojová oceľ, WC
Meď a jej zliatiny	<50	Niklové zliatiny, PCBN, zliatiny volfrámu
	<11	Nástrojová oceľ
Titánové zliatiny	<6	Zliatiny volfrámu
Nehrdzavejúce ocele	<6	PCBN, zliatiny volfrámu
Nízkolegovaná oceľ	<10	WC, PCBN
Niklové zliatiny	<6	PCBN

Literatúra

Slide:

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Friction_stir_processing

[4] http://www.uqac.ca/ceeuqac/index/csfm_english

[5] <https://www.youtube.com/watch?v=ZpGfjg6BI5o>

[12] <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/12296.pdf>

[12] Cam, G., & Mistikoglu, S. (2014). Recent developments in friction stir welding of Al-alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1936-1953.

[14] https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2008/ip_4.html

[14] <https://phys.org/news/2014-06-lighter-cars-robotic-welding-method.html>

[15] <https://www.assemblymag.com/articles/93337-friction-stir-spot-welding>

[15] <http://www.ftech.co.jp/en/development/>

[16] <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/12296.pdf>

[18] <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/12296.pdf>

[20] <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/12296.pdf>

[20] <https://www.productionfrictionstirwelding.com/architecture-and-construction-products>

Literatúra

Slide:

[22] <http://www.gatwicktechnologies.com/applications/body-panels>

[25] <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/12296.pdf>

[26] <http://assets.esab.com/asset-bank/assetfile/12296.pdf>

[28] Behmand, S. A., Mirsalehi, S. E., Omidvar, H., & Safarkhanian, M. A. (2015). Filling exit holes of friction stir welding lap joints using consumable pin tools. *Science and Technology of Welding and Joining*, 20(4), 330-336.

[28] https://www.researchgate.net/figure/Tandem-twin-stirTM-lead-and-follow-exit-holes_fig4_228600743

[36] Longhurst, W. R., Strauss, A. M., Cook, G. E., & Fleming, P. A. (2010). Torque control of friction stir welding for manufacturing and automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9-12), 905-913.

[38] <http://www.bil-ibs.be/en/friction-stir-welding>

[39] https://www.asiamachinery.net/supplier/product_details.asp?ProID=13282&SupID=7312

[40] Mendes, N., Neto, P., Loureiro, A., & Moreira, A. P. (2016). Machines and control systems for friction stir welding: a review. *Materials & Design*, 90, 256-265.

[41] <http://www.directindustry.com/prod/esab/product-18224-981963.html>

[42] [40] Mendes, N., Neto, P., Loureiro, A., & Moreira, A. P. (2016). Machines and control systems for friction stir welding: a review. *Materials & Design*, 90, 256-265.

[43] Maria Asli Sicilan and S. Senthil Kumar "Analysis of Surface Quality of Friction Stir Welding Joints using Image Processing Techniques "International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, Travancore Engineering College, Kollam, Kerela, India. 03/2014

Literatúra

Slide:

[44] <http://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2011/tools.html>

[45] Pasha, A., Reddy, R., Laxminarayana, P., & Khan, I. A. (2014). INFLUENCE OF PROCESS AND TOOL PARAMETERS ON FRICTION STIR WELDING—OVER VIEW. *Int J App Eng Technol*, 4(3), 54-69.

[47] Pastor, A., & Svoboda, H. G. (2013). Time-evolution of heat affected zone (HAZ) of friction stir welds of AA7075-T651.

[48] https://www.aerospace-technology.com/contractors/sub_contract/horst/attachment/horst3/

[54] Han, B., Huang, Y., Lv, S., Wan, L., Feng, J., & Fu, G. (2013). AA7075 bit for repairing AA2219 keyhole by filling friction stir welding. *Materials & Design*, 51, 25-33.

[54] <https://uwaterloo.ca/centre-advanced-materials-joining/laboratory-facilities-and-equipment/production-equipment/friction-stir-welding-equipment>

[55] <https://www.assemblymag.com/articles/93337-friction-stir-spot-welding>

[56] Wang, D., Xiao, B. L., Ni, D. R., & Ma, Z. Y. (2014). Friction stir welding of discontinuously reinforced aluminum matrix composites: a review. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 27(5), 816-824.

[59] Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, *Friction Stir Welding and Processing*, ASM International, 2007