



Friction Stir Welding European Qualifications

## CU02 – Príprava a definícia spoja FSW Špecialista a inžinier



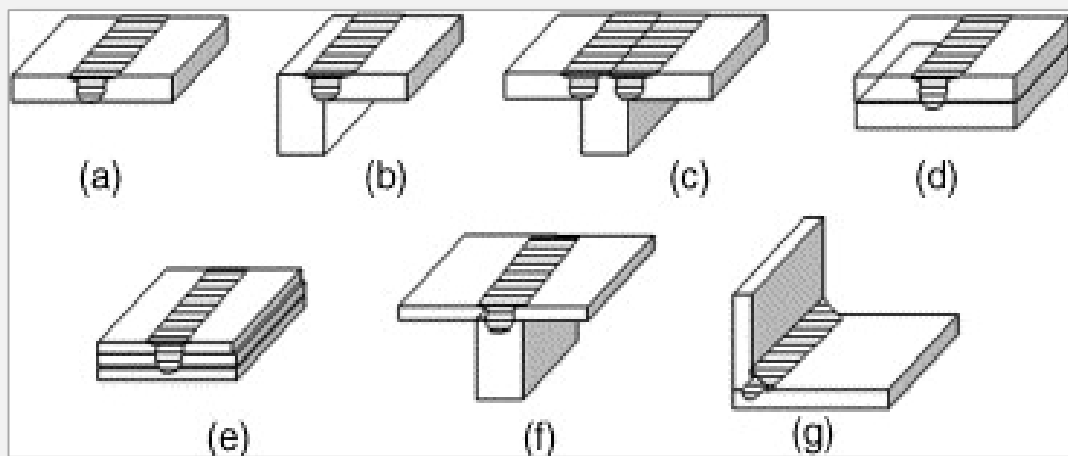
Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

## 2. Definícia spoja

- 2.1 Pokyny pre návrh spoja
- 2.2 Metódy čistenia
- 2.3 Nástroje
- 2.4 Upínanie
- 2.5 Podkladové platne
- 2.6 Základné materiály
- 2.7 Vybavenie pre FSW
- 2.8 FSW-Technické parametre
- 2.9 Programy
- 2.10 Referencie

## 2.1 – Pokyny pre návrh spoja

### 2.1.1 Typy spojov



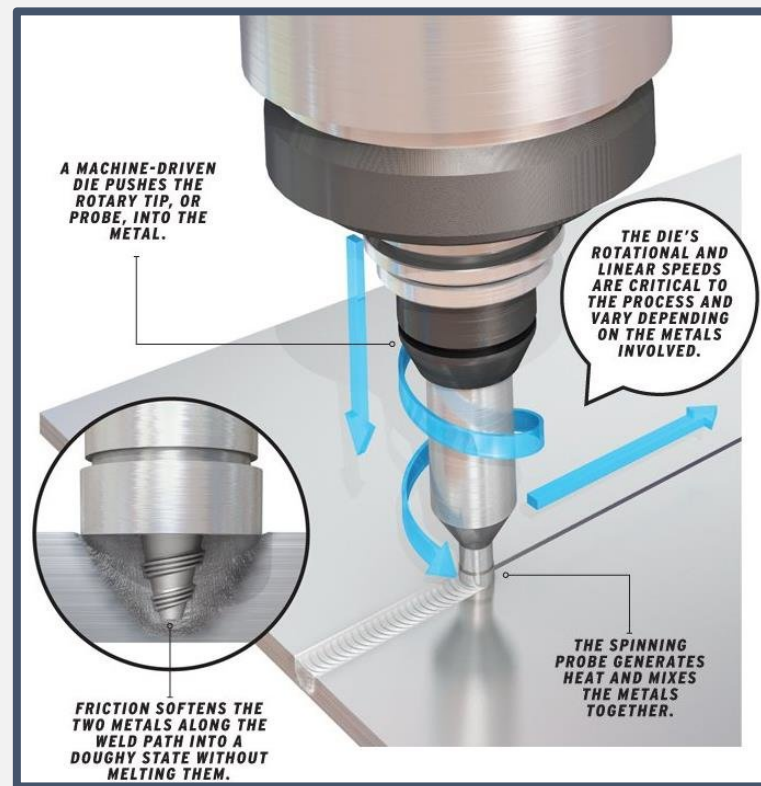
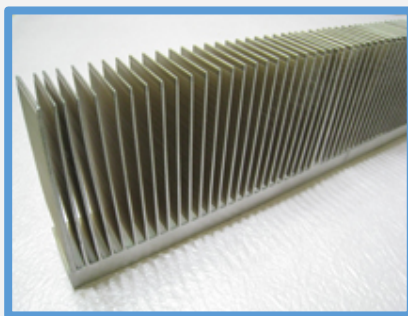
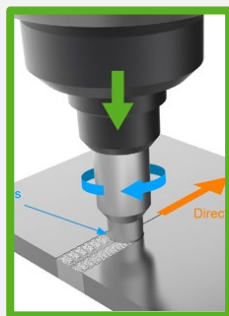
- a. Rovný tupý
- b. Rohový tupý
- c. **Tupý T spoj**
- d. **Preplátovaný spoj**
- e. Viacnásobne preplátovaný spoj
- f. Preplátovaný T spoj
- g. **Kútový spoj**

## 2.1 – Pokyny pre návrh spoja

### 2.1.2 Pokyny pre návrh

Pri návrhu je potrebné vziať do úvahy:

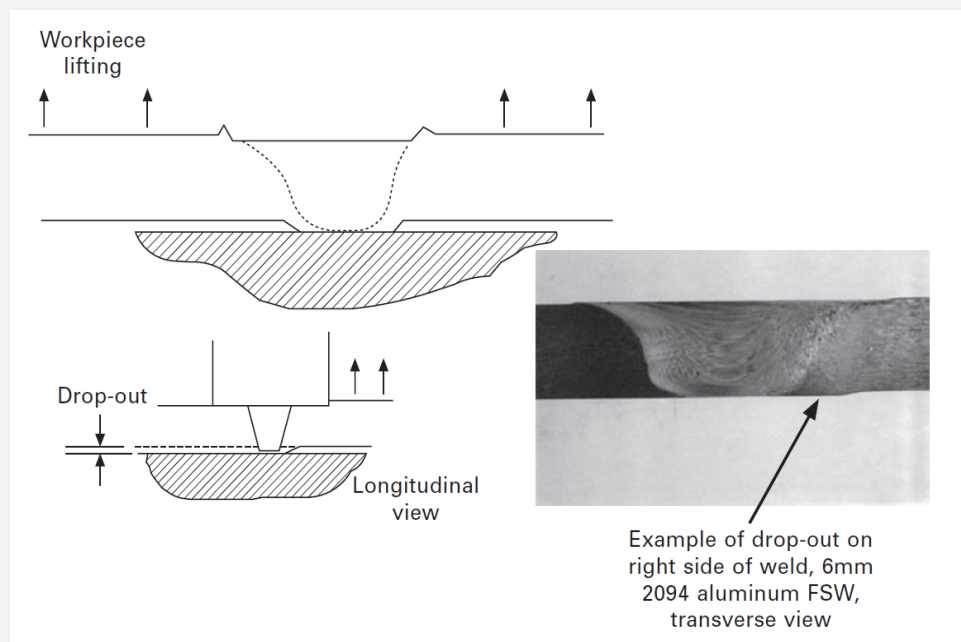
- ✓ Oblasť pre prechod ramena zvaracieho nástroja – funkcia hrúbky materiálu a zliatiny
- ✓ Výskyt zmäkčeného zvarového kovu po celej dĺžke spoja
- ✓ **Silu** na prevenciu pohybu obrobkov
- ✓ **Chladítka** na rozptyl zvaracieho tepla



## 2.1 – Pokyny pre návrh spoja

### 2.1.2 Pokyny pre návrh

- Nedostatočné upnutie môže viesť k **“poklesu”** čo je dôsledok neprimeranej vertikálnej sily v tupom zvale brániacej obrobku pred zdvihnutím z podkladu.
- Tomu možno lepšie predchádzať zabezpečením dobrého návrhu upínadiel než sa **snažiť skorigovať to počas zvaracieho procesu**.



Pokles v tupom zvale spôsobený neprimeranou vertikálnou upínacou silou pôsobiacou na obrobok

## 2.2 – Metódy čistenia

### 2.2.1 *Dôležitosť čistenia*

- Nutný krok pre úspešný zvar
- Odstráňte prach, masť alebo vlhkosť
- Negatívne dôsledky nedostatočného očistenia povrchu:
  - Nízka únavová odolnosť
  - Lokálne nízka ťažnosť
  - Vnútorne chyby

### Najbežnejšie metódy čistenia:

- ✓ Nanesenie rozpúšťadla a jeho zotretie papierovou utierkou

### Ostatné metódy čistenia (nie tak bežne používané):

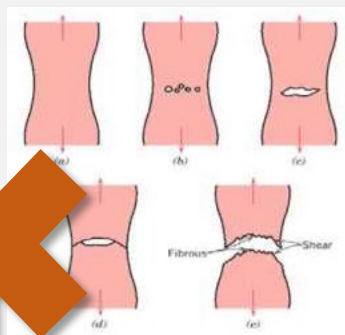
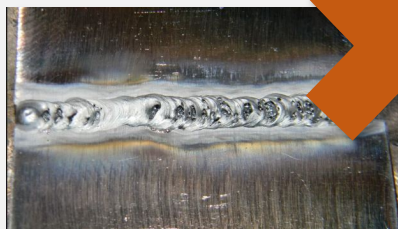
- ✓ Obrúsenie
- ✓ Očistenie drôtenou kefou
- ✓ Odstraňovače náterov
- ✓ Morenie

## 2.2 – Metódy čistenia

### Výhody

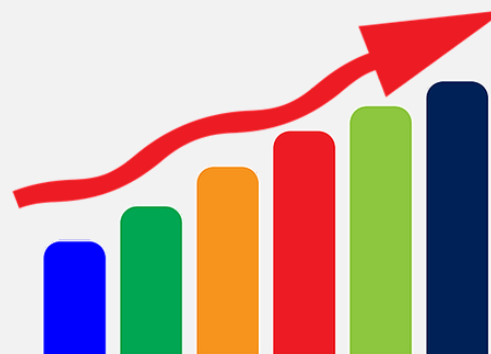
Prevencia:

- Nízkej odolnosti proti únavovému namáhaniu
- Lokálne zníženej ťažnosti a vnútorným chybám spôsobeným dohrevom po zvaraní



### Nevýhody

Zvýšenie ceny procesu



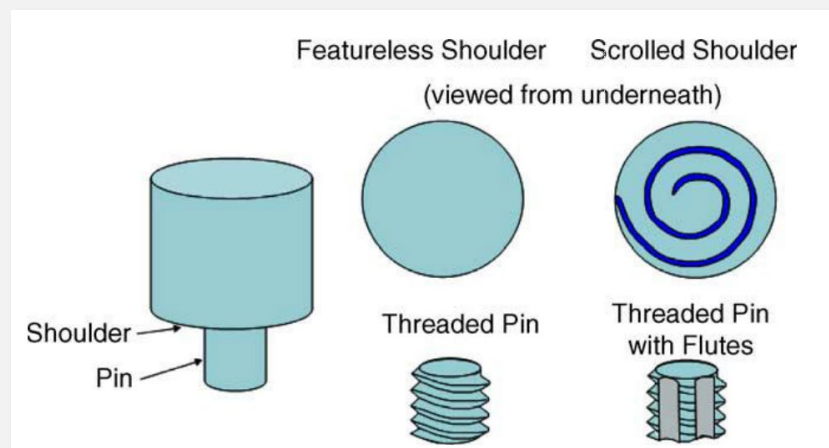
## 2.3 – Nástroje

FSW nástroje:

- ✓ Netaviteľné
- ✓ Kľúčový komponent FSW procesu

**Materiál** a **geometria** závisí na:

- ✓ Zváranom materiáli
- ✓ Rozmeroch
- ✓ Konfigurácii spoja
- ✓ Ostatných požadovaných špecifikáciách



Hlavné tvary ramena a hrotu nástroja

## 2.3 – Nástroje

### 2.3.1 Typy nástrojov a ich charakteristiky

Šesť základných charakteristík pre voľbu nástroja:

- ✓ Pevnosť pri okolitej a pracovnej teplote
- ✓ Únavová životnosť pri pracovnej teplote
- ✓ Lomová húževnatosť
- ✓ Charakteristiky opotrebenia
- ✓ Dlhodobá tepelná stabilita
- ✓ Chemická stabilita (*nulová alebo obmedzená reakcia s obrobkom*)

How to select a  
tool?



## 2.3 – Nástroje

### 2.3.1 Typy nástrojov a ich charakteristiky

#### *Niekoľko príkladov*

- Na zváranie hliníkových zliatin (najbežnejšia aplikácia FSW) → nástrojové ocele
  - Hliníkové zliatiny (hrúbky od 6 do 12 mm) → obvykle sa používa nástrojová oceľ H13
  - Pre väčšie hrúbky alebo pre zvýšenie produktivity sa vyžaduje:
    - **hrot nástroja** vyrobený z **vysokopevných materiálov** pri zváracej teplote
    - ale **rameno nástroja** môže byť vyhotovené aj ocele **H13**
- Pre niektoré špecifické prípady – vývoj dokonalejších návrhov spoja poskytujúcich lepšie pracovné vlastnosti
- Zváranie iných materiálov ako je titán, oceľ alebo meď môže vyžadovať materiály na báze volfrámu, polykryštalický nitrid bóru s kubickou mriežkou alebo iné kvalitné materiály, ktoré znášajú vysoké teploty.

## 2.3 – Nástroje

### 2.3.2 Polohovanie

*Presadená poloha*

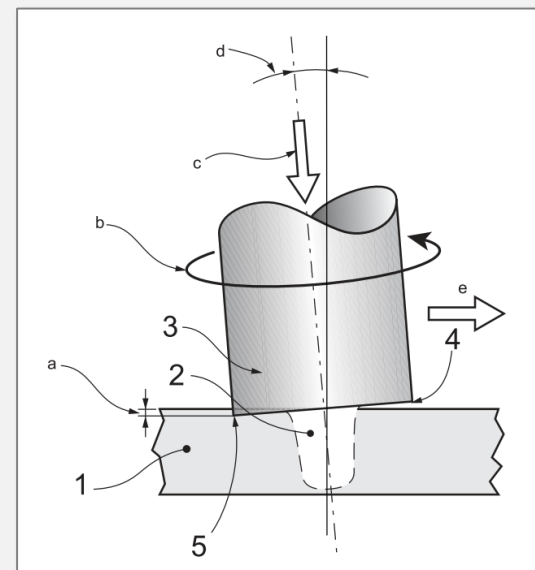
- Presadená poloha zodpovedá postrannému odsadeniu od osi nástroja ku styčnému povrchu

*Z poloha*

- Posuv nástroja cez obrobok je predurčený pozdĺž troch rozmerov (osí x, y, z).

*Hĺbka ponorenia*  
*a*

- Vzdialenosť ktorou päta nástroja zasahuje do zvarového kovu sa nazýva hĺbka ponorenia
- Programovaný a kritický parameter pre polohovo riadené prechody



#### Bočný pohľad na tupý zvar

1. Obrobok
2. Hrot
3. Nástroj
4. Rameno (postupová strana)
5. Päta (ústupová strana nástroja)

- a) Hĺbka ponorenia päty
- b) Smer otáčania nástroja
- c) Osová sila
- d) Uhol naklonenia
- e) Smer zvarovania

## 2.4 – Upínanie

### 2.4.1 – Metódy upínania a jeho charakteristiky

*Upínky s  
mechanickým  
ovládaním*

- Jednoduchý a ekonomický spôsob upínania plechov alebo platní
- Vysoké upínacie sily
- Upínacie čeľuste uložené blízko zvarového šva kvôli rozdielnej tepelnej vodivosti
- Dlhý čas zostavovania (upínania obrobkov)

*Pneumatické a  
hydraulické  
upínky*

- Pre sériovú výrobu, aby sa skrátili časy zostavovania
- Tieto prípravky sú drahé a vyplatia sa iba v prípade sériovej výroby

*Vákuové  
upínanie*

- Veľmi flexibilné systémy s jednoduchým použitím
- Umožňuje upínať súčasti rôznej veľkosti
- Krátke časy zostavovania
- Upínacie sily sú nie vždy dostatočné pre hrubé platne

## 2.4 – Upínanie

### 2.4.2 – *Dôležitosť upínania*

***Správne upnutie je významným aspektom keďže je vždy prítomné počas procesu zvárania.***

#### Upínacie mechanizmy:

- ✓ Majú umožniť prístup hrotu FSW nástroja na zváraciú dráhu
- ✓ Majú zabrániť pozdĺžnemu posunutiu, priehybu alebo oddeleniu súčastí v dôsledku krutových síl
- ✓ Ovplyvňujú kvalitu zvaru a výrobný cyklus.

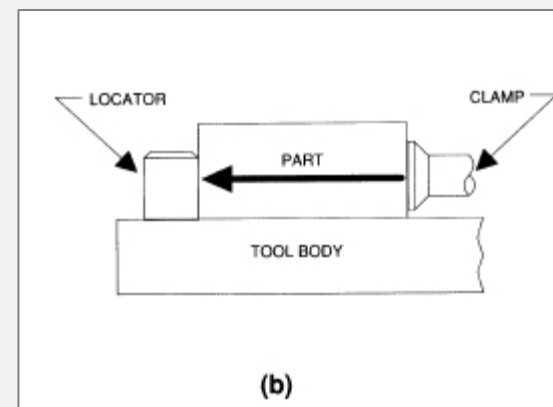
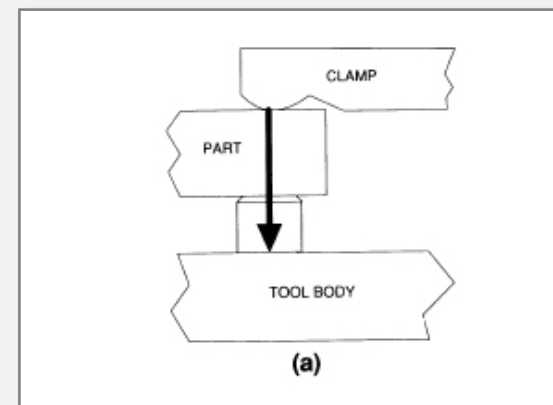
## 2.4 – Upínanie

### 2.4.3 – Usporiadanie upínacieho systému

- **Zarážky** – odolávajú všetkým primárnym silám vytváraným počas procesu
- **Upínky** – majú udržiavať obrobok oproti zarážkam a odolávať všetkým sekundárnym silám vytváraným počas procesu

Polohovanie/umiestnenie upínok:

- V najtužších bodoch obrobku – čím sa predíde jeho poškodeniu
- Má zabezpečiť rovnaké rozloženie síl počas celého procesu
- Má byť tak zvolené, aby nezasahovalo do zvracej dráhy počas pracovnej operácie

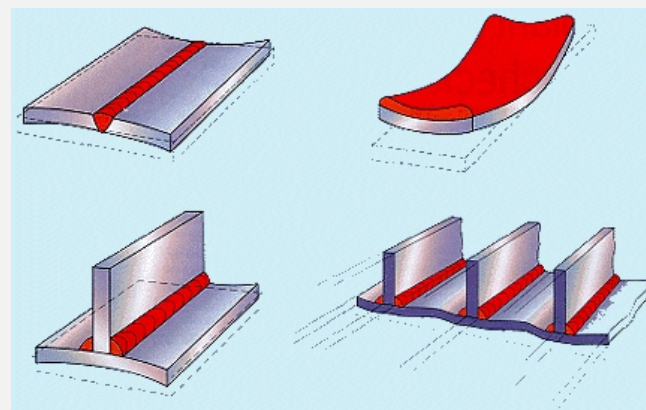


## 2.4 – Upínanie

### 2.4.4 – Vplyv upínania na zvarací proces

Faktory vplyvňujúce pokrútenie:

- ✓ Umiestnenie zvierky
- ✓ Čas upínania
- ✓ Čas uvoľnenia upnutia
- ✓ Predhrev zvierok



Predhrev zvierok → rovnomernejšia deformácia → zmenšená amplitúda vydutia

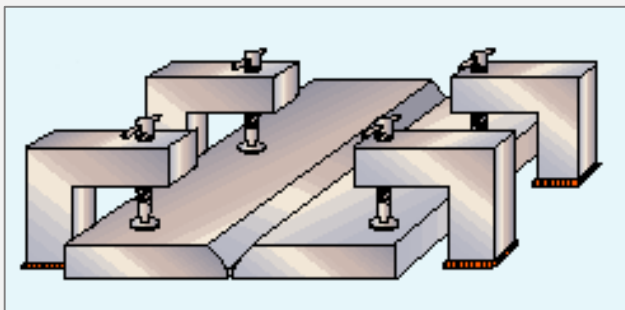
Dlhšie časy uvoľnenia → zmenšené uhlové pokrútenie

Dlhšie časy upínania → zmenšená amplitúda priehybu

Čím sú zvierky bližšie ku zvaru → tým je menšie finálne pokrútenie

## 2.4 – Upínanie

### 2.4.5 – Prípravky a upínadlá



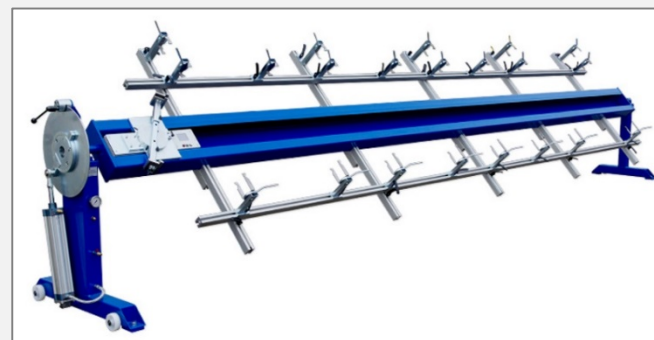
Zvárací prípravok (zdroj: TWI)



Vákuové upínanie



Rámové upínadlo

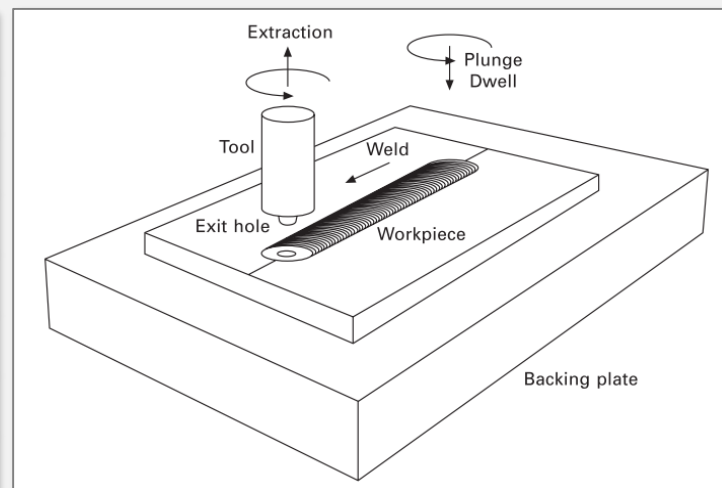


Zváranie s upínacím rámom

## 2.5 – Podkladové platne

- ✓ Odolávajú zvislým silám pôsobiacim pri FSW
- ✓ Poskytujú tuhý predmet na upnutie platní alebo plechov, ktoré sa majú zvárať
- ✓ Materiál podkladovej platne ovplyvňuje spotrebu energie a kvalitu zvaru

Materiál	Tepelná vodivosť [W/mK]
Mäkká oceľ	40-60
Nehrdzavejúca oceľ	15-25
X33CrS16 (1.2085)	17
RAMAX	24
Mosadz	110-150
Meď	180-400
Hliníkové zliatiny	110-235



## 2.6 – Základné materiály

### ***2.6.1 Materiály vhodné pre FSW***

- Vysokoteplotné zliatiny (napr. titán, ocele, nikel)
- Nízkoteplotné zliatiny (napr. hliník, horčík, meď)
- Nerovnorodé materiály (napr. hliník s oceľou, hliník s horčíkom)
- Termoplasty

## 2.6 – Základné materiály

### 2.6.2 Zvariteľnosť materiálov pre FSW

- ✓ FSW zlepšuje zvariteľnosť niektorých materiálov
- ✓ Hlavným obmedzením zvariteľnosti kovov s vysokým bodom tavenia je nedostupnosť vhodných materiálov nástroja, ktoré dokážu znášať náročné pracovné podmienky
- ✓ Teplo vytvárané trením, plastické pretvorenie alebo pomocný ohrev musia byť dostatočné na to, aby prekonalí stratu tepla z oblasti zvarania v dôsledku jeho odvodu do obrobku
- ✓ Niektoré hliníkové zliatiny je ťažko alebo nemožné zvarať tradičnými metódami oblúkového zvarania v dôsledku problémov s tvorbou krehkých fáz a praskaním, takže zvaranie trením s premiešaním je vhodnou alternatívou.
- ✓ FSW ocele ukázalo, že nižšia teplota zvarania môže tiež viesť k veľmi malým deformáciám a unikátnym vlastnostiam spoja
- ✓ Pri aplikovaní FSW metódy na titán je nutný nízky tepelný príkon v dôsledku vhodnej geometrie nástroja a to buď minimalizáciou priemeru ramena alebo úplnou elimináciou rotácie ramena kvôli jeho nízkej tepelnej vodivosti
- ✓ FSW metóda bola aplikovaná na výrobu puzdier na skladovanie nukleárneho odpadu počas niekoľkých rokov. Hoci sa očakávalo, že vysoká tepelná vodivosť medi môže byť problémom, tento bol skorigovaný vyššími otáčkami vretena, čo napomohlo dodaniu dostatočnej intenzity tepla na vyhovenie kvalitných zvarov
- ✓ FSW metóda tiež umožňuje spájanie nerovnorodých materiálov, čo je výzvou pre určité nové aplikácie

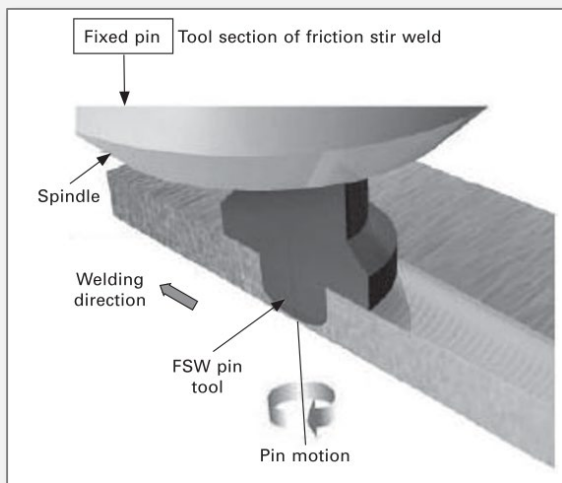
## 2.7 – Zariadenie pre FSW

### 2.7.1 – Typy zariadení a ich charakteristiky

- FSW zariadenie vyžaduje, aby bolo navrhnuté tak, aby **zabezpečilo**:
  - Vhodné vybavenie
  - Primerané prítlačné upnutie (vrátane dostatočnej tuhosti na zabránenie pohybu súčastí)
  - Rozptyl tepla vytvoreného procesom
- Kritickými parametrami riadenými FSW zariadením sú:
  - Poloha hrotu nástroja
  - Orientácia
  - Zaťažovacie sily
  - Rýchlosť otáčania a zvárania
- FSW stroje sú obvykle navrhované pre špecifickú aplikáciu, hoci existuje aj niekoľko strojov **všeobecnej konfigurácie**, ktoré zvládajú rôzne situácie.

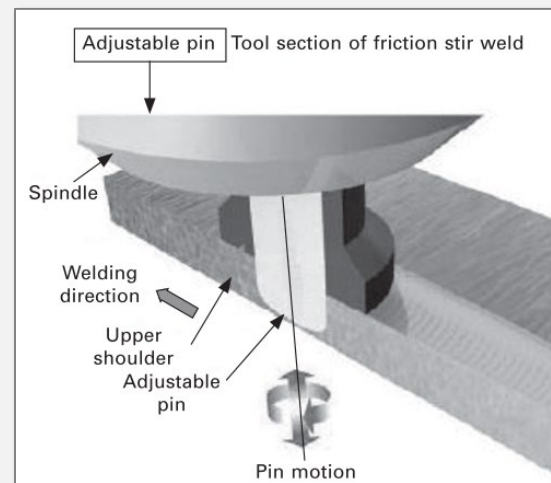
## 2.7 – Zariadenie pre FSW

### 2.7.1 – Typy zariadení a ich charakteristiky



Fixný hrot

- ✓ Nástroj z jedného kusa, rameno a hrot
- ✓ Spoločný pohyb s vretenom zvaracej hlavy
- ✓ Najtradičnejšia forma FSW metódy



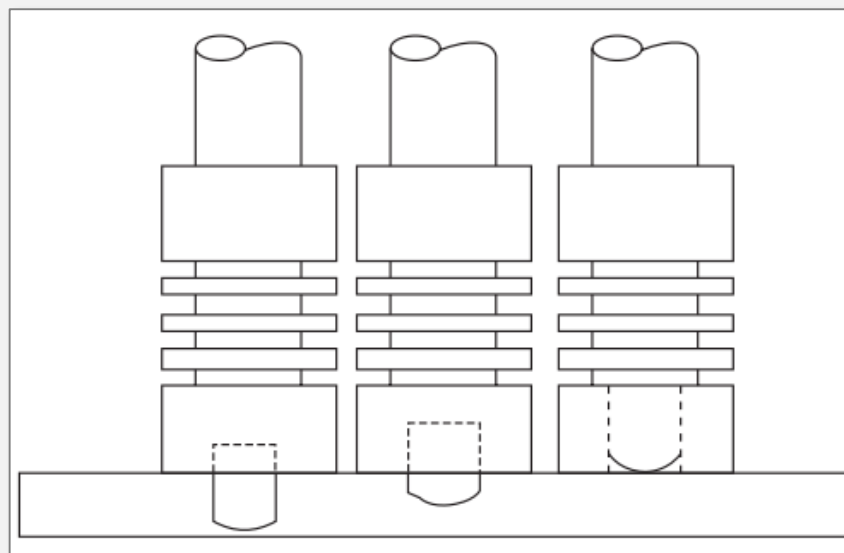
Nastaviteľný hrot

- ✓ Rozpojenie medzi hrotom a ramenom
- ✓ Vhodné na zváranie dielov s rôznou hrúbkou
- ✓ Používa sa na uzavretie diery po hrote

## 2.7 – Zariadenie pre FSW

### 2.7.1 – Typy zariadení a ich charakteristiky .

Uzavretie diery po hrote nastaviteľným hrotom



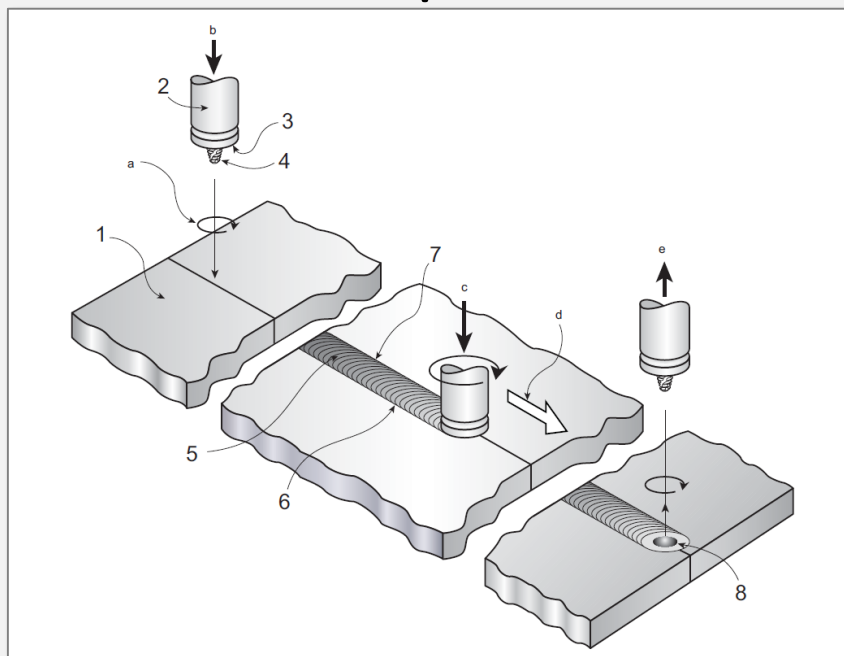
- Vyžaduje sofistikovanejší návrh a riadenie stroja
- Dokáže pohybovať nezávisle hrotom a ramenom

## 2.7 – Zariadenie pre FSW

### 2.7.2 – *Produktivita a účinnosť zariadení*

- Zvyšovanie rýchlosti zvárania kvôli zvýšeniu produktivity nie je ideálnym riešením
- Možno použiť riešenia fixnej automatizácie a robotizácie a ich voľba závisí od technických a ekonomických faktorov
  - ✓ Fixná automatizácia – stroj postavený na jeden účel a na presné požiadavky špecifickej aplikácie
  - ✓ Robotické riešenia – vyššia flexibilita
- Produktivita a účinnosť procesu je ovplyvňovaná tiež návrhom nástroja

## 2.8 – FSW parametre



- a) Smer rotácie nástroja
- b) Pohyb nástroja nadol
- c) Osová sila
- d) Smer zvarania
- e) Pohyb nástroja nahor

### Hlavné premenné FSW procesu

Tool design variables	Machine variables	Other variables
Shoulder and pin materials	Welding speed	Anvil material
Shoulder diameter	Spindle speed	Anvil size
Pin diameter	Plunge force or depth	Workpiece size
Pin length	Tool tilt angle	Workpiece properties
Thread pitch		
Feature geometry		

- 1) Obrobok
- 2) Nástroj
- 3) Rameno
- 4) Hrot
- 5) Čelo zvaru
- 6) Ústupová strana zvaru
- 7) Postupová strana zvaru
- 8) Výstupná diera

## 2.8 – FSW parametre

- ✓ Rýchlosť otáčania [ot. min]
- ✓ Hĺbka ponorenia päty [mm]
- ✓ Osová sila [kN]
- ✓ Uhol sklonu [°]
- ✓ Postranný uhol sklonu [°]
- ✓ Doba zadržania [s]
- ✓ Zváracia rýchlosť [mm/min]
- ✓ Teplota predhrevu [°C]
- ✓ Dodatočné spracovanie
- ✓ Rýchlosť ohrevu a ochladzovania



## 2.9 – Programy



## 2.10 – Referencie

1. S. Ebnesajjad and H. A. Landrock, "Joint Design," *Adhes. Technol. Handb.*, pp. 183–205, 2014.
2. R. S. Mishra and Z. Y. Ma, "Friction stir welding and processing," *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 50, no. 1–2, pp. 1–78, 2005.
3. D. Lohwasser and Z. Chen, *Friction Stir Welding: From Basics to Applications*. 2010.
4. R. Miller, "GUIDELINES FOR FRICTION STIR WELDING," Detroit, 2011.
5. R. S. Mishra and M. W. Mahoney, "Friction Stir Welding and Processing," *ASM Int.*, p. 368, 2007.
6. I. O. for S. (ISO), *Final Draft ISO/FDIS 25239-5*, 1st ed. ISO, 2011.
7. ESAB, "Handbook - Joint Design & Prep." [Online]. Available: [https://www.esabna.com/euweb/sa\\_handbook/585sa2\\_26.htm](https://www.esabna.com/euweb/sa_handbook/585sa2_26.htm). [Accessed: 18-Jul-2018].
8. [N. Mendes, P. Neto, A. Loureiro, and A. P. Moreira, "Machines and control systems for friction stir welding: A review," *Mater. Des.*, vol. 90, pp. 256–265, 2016.
9. G. K. Padhy, C. S. Wu, and S. Gao, "Friction stir based welding and processing technologies - processes, parameters, microstructures and applications: A review," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 34, pp. 1–38, 2017.
10. P. S. D. N. K. Mishra, S. R., *Friction stir welding and processing*. 2014.
11. F. C. Liu, Y. Hovanski, M. P. Miles, C. D. Sorensen, and T. W. Nelson, "A review of friction stir welding of steels: Tool, material flow, microstructure, and properties," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 1, pp. 39–57, 2017.
12. I. O. for S. (ISO), *Final Draft ISO/FDIS 25239-1*, 1st ed. ISO, 2011.
13. A. Fehrenbacher, N. A. Duffie, N. J. Ferrier, F. E. Pfefferkorn, and M. R. Zinn, "Toward Automation of Friction Stir Welding Through Temperature Measurement and Closed-Loop Control," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 133, no. 5, p. 051008, 2011.
14. Future Weld, *Mechanized Welding - Mechanized, Orbital and Robot Welding*. 2014.
15. D. Lohwasser and Z. Chen, *Friction stir welding : from basics to applications*. Woodhead Publishing, 2009.

## 2.10 – Referencie

16. T. Schenk, I. M. Richardson, M. Kraska, and S. Ohnimus, "A study on the influence of clamping on welding distortion," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 45, no. 4, pp. 999–1005, 2009.
17. W. J. Choi, J. D. Morrow, F. E. Pfefferkorn, and M. R. Zinn, "The Effects of Welding Parameters and Backing Plate Diffusivity on Energy Consumption in Friction Stir Welding," *Procedia Manuf.*, vol. 10, pp. 382–391, 2017.
18. "3.1 Material Certificates | Classic Filters." [Online]. Available: <https://www.classicfilters.com/blog/materialcertificates/>. [Accessed: 03-Jan-2019].
19. "How to view the material certificate? – Part 1 – AMARINE." [Online]. Available: <https://amarineblog.wordpress.com/2017/09/22/how-to-view-the-material-certificate/>. [Accessed: 03-Jan-2019].
20. W. M. Syafiq, M. Afendi, R. Daud, M. N. Mazlee, and N. A. Jaafar, Variation of tool offsets and its influence on mechanical properties of dissimilar friction stir welding of aluminum alloy 6061 and S235JR mild steel by conventional belting milling machine. 2017.
21. "What Is a Welding Jig? - Tulsa Welding School." [Online]. Available: <https://www.weldingschool.com/blog/welding/what-is-a-welding-jig/>. [Accessed: 19-Jul-2018].
22. "UNIT 4 JIGS AND FIXTURES Structure 4.1 Introduction."
23. "Welding Fixtures and How They Work | Forster America." [Online]. Available: <https://www.forsteramerica.com/welding-fixtures-and-how-they-work/>. [Accessed: 19-Jul-2018].
24. D. Lohwasser and Z. Chen, Friction stir welding Related titles : 2010.
25. [26] HSE Gov.UK, "Welding fume - Reducing the risk." [Online]. Available: <http://www.hse.gov.uk/welding/fume-welding.htm>. [Accessed: 07-Aug-2018].
26. ESAB AB Welding Automation and ESAB, "Friction Stir Welding - Technical Handbook." [Online]. Available: [https://www.esabna.com/euweb/sa\\_handbook/585sa2\\_26.htm](https://www.esabna.com/euweb/sa_handbook/585sa2_26.htm). [Accessed: 18-Jul-2018].
27. D. Veljić et al., "Advantages of friction stir welding over arc welding with respect to health and environmental protection and work safety," *Struct. Integr. Life*, vol. 15, no. 2, pp. 111–116, 2015
28. S. B.; D. R. D.Muruganandam, "HEALTH HAZARDS DUE TO VARIOUS WELDING TECHNIQUES AND ITS REMEDY BY FRICTION STIR WELDING (FSW)," *Int. J. Res. Aeronaut. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 96–101, 2014.



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



Friction Stir Welding European Qualifications

Ďakujem