



Friction Stir Welding European Qualifications

FSW operater



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

1. FSW Osnove

1,1 - Predstavitev FSW

1.1 - Predstavitev FSW

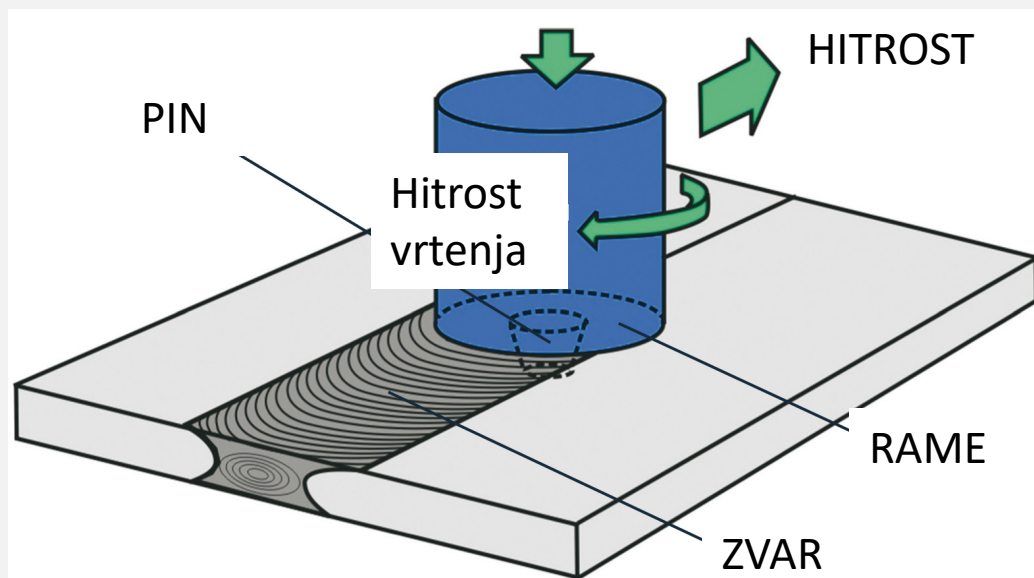
Varjenje s pomočjo mešanja materiala s pomočjo vrtečega orodja (FSW)

- Je postopek spajanja, kadar sta dva ali več kovinskih obdelovancev združena družila s segrevanjem s pomočjo trenja in mešanja materiala v plastičnem stanju, ki ga brez dodatnega materiala spajamo s pomočjo vrtečega se orodja, ki prehaja vzdolž zvara.

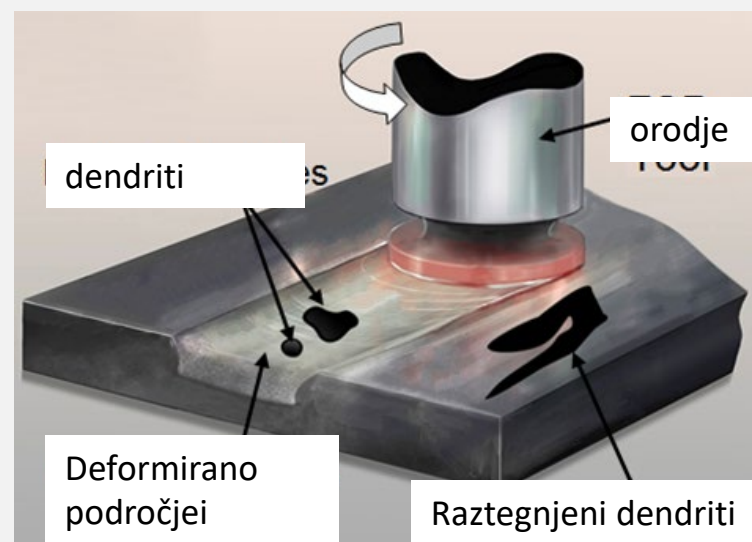
Spajanje s pomočjo trenja (FSP)

- Je različica v delovanju FSW. Proces FSW lokalno spremeni mikrostrukturo in lastnosti zvara območja. S trenjem mešamo do celih kosov materiala. Orodje se vodi naprej in nazaj za spreminjanje lastnosti materiala.

1.1 - Predstavitev FSW

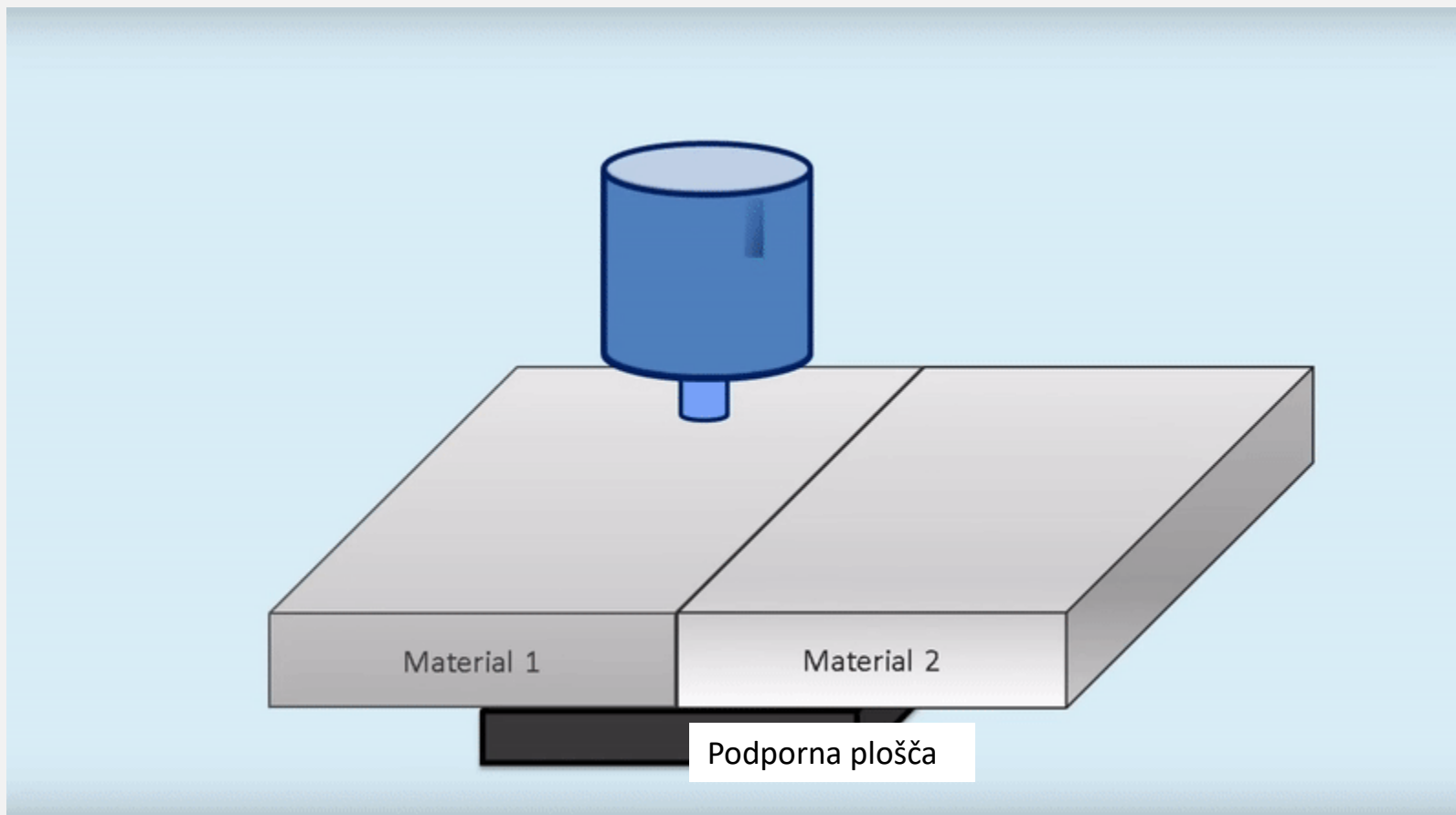


FSW



FSP

1.1 - Predstavitev FSW



1.1 - Predstavitev FSW

Metalurške prednosti:

- trdna faza procesa spajanje,
- majhno popačenje,
- visoka dimenzijska stabilnost in ponovljivost,
- ne izgubi legirne elemente,
- dobre mehanske lastnosti,
- fino prekristaliziramo struktura,
- Manj razpok.

1.1 - Predstavitev FSW

Okoljske koristi:

- ni potreben zaščitni plin,
- zahteva pripravo minimalne površine,
- odpravlja brušenje - odpadki,
- odpravlja čistila topila in razmaščevalce,
- Prihranki pri potrošnih materialih,
- odsotnost škodljivih emisij.

1.1 - Predstavitev FSW

Energetske prednosti:

- zmanjša porabo energije v primerjavi z laserskim varjenjem,
- zmanjša težo skupnega varjenca kar povzroči zmanjšanje porabe goriva v avtomobilski, ladijski in letalski aplikaciji,
- Zmanjšanje mase rezultira izboljšano uporabo materiala.

1.1 - Predstavitev FSW

Slabosti FSW procesa:

- Velika količina obrabe orodja
- Posamezne hitrosti podajanja varjenja v nekaterih zlitinah so počasnejše kot pri nekaterih tehnikah obločnega varjenja
- Oprema se uporablja za FSW je velika in draga, zaradi visokih varilnih sil
- Visokotemperaturne materiale, kot na primer jekla in nerjavnega jekla imajo omejitve pri orodju
- Odsotnost žice polnila pomeni, da postopek ni mogoče zlahka uporabiti za izdelavo kotnih zvarov
- Prisotnost izhodne luknje po konvencionalnem FSW postopku

1.1 - Predstavitev FSW

FSW se lahko uporabljajo v naslednjih panogah:

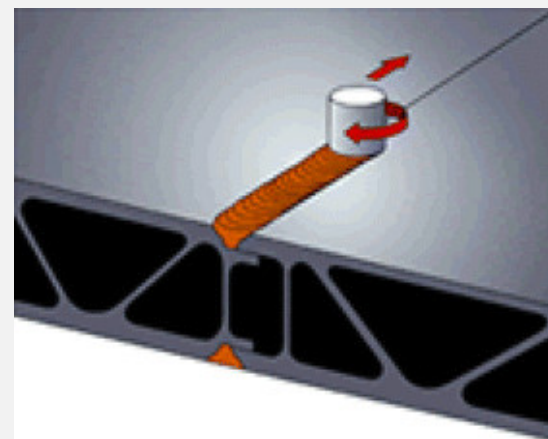
- Ladjedelništvo in Off-shore
- Avtomobilizem
- Železnice
- Aerospace
- izdelava
- Drugo (električni, nafta in plin, jedrska industrija, gradbeništvo)

1.1 - Predstavitev FSW

FSW se lahko uporabljajo v naslednjih panogah:

- Ladjedelništvo in Off-shore
- Avtomobilizem
- Železnice
- Aerospace
- izdelava
- Drugo (električni, nafta in plin, jedrska industrija, gradbeništvo)

1,1 - Predstavitev FSW



Železniški - popolnoma avtomatsko ekstrudirani profili plošč

Ekstrudirani profil varjenje

1.1 - Predstavitev FSW

Varjenje FSW za **Avtomobilizem**

Kjer se lahko uporablja za:

- zapirala,
- rezervoarje,
- bate,
- platišča,
- prikolice

1.1 - Predstavitev FSW

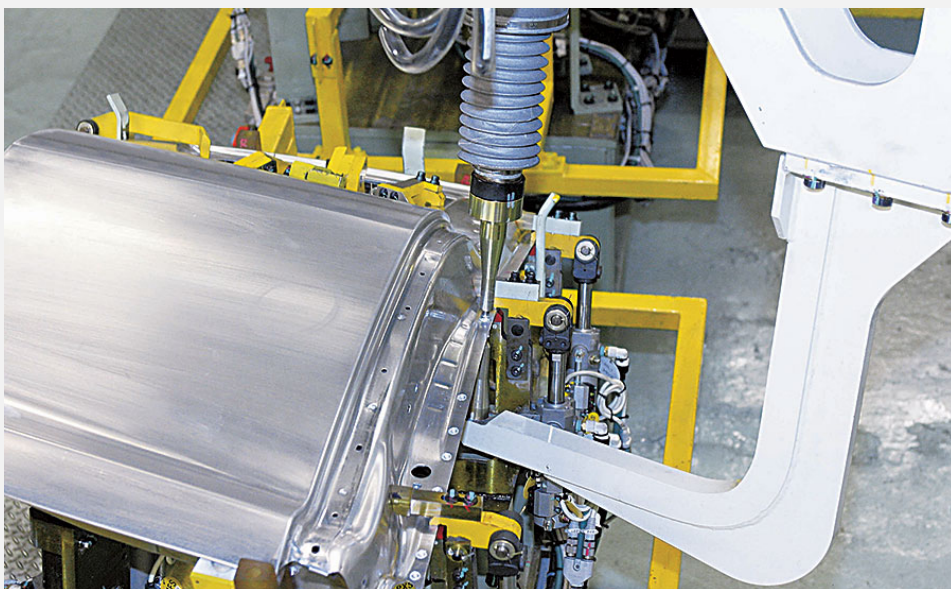


Avtomobilizem - proizvodnja platišč.



Robotski FSW avtomobilov karoserije

1,1 - Predstavitev FSW

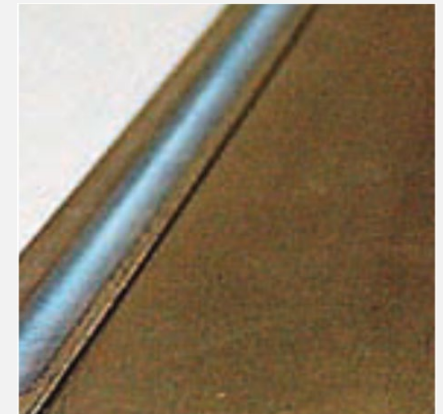


Trenje mešamo točkovno varjenje



Različnih kovin spajanja

1.1 - Predstavitev FSW



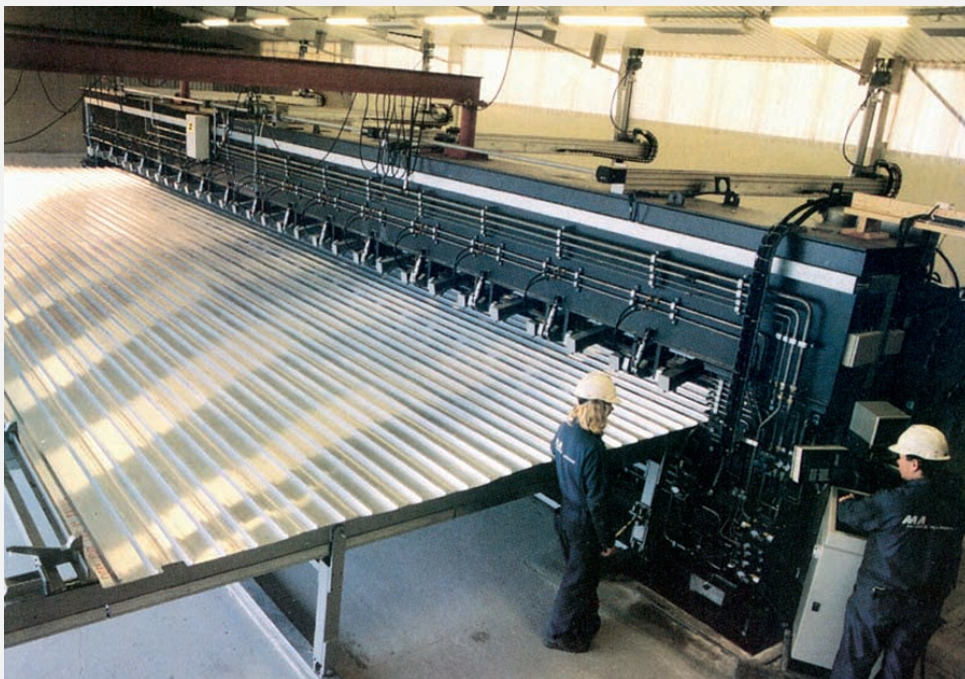
Možne avtomobilске aplikacije za FSW: mešani spoj med dvema debelinama, pertlan spoj in prekrovno varjenje.

1,1 - Predstavitev FSW

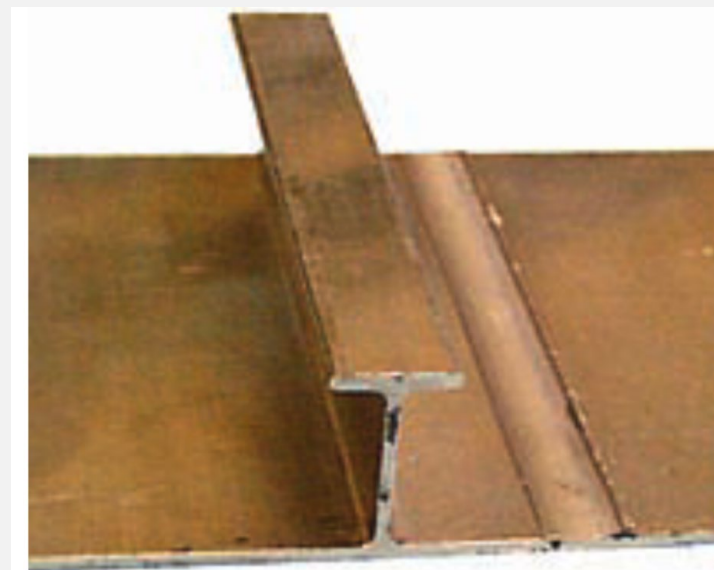
Varjenje Postopek tornih vmeša za **ladjedelništvo** se lahko uporablja za:

- Aluminijske plošče za globoko zamrzovanje rib na ribiških ladij
- Vstop iztiskanje ustvariti plošče za krove in pregrade
- satja plošče
- Morska vodoodporne plošče

1.1 - Predstavitev FSW



Ladjedelništvo - velika plošča FSW



Panel varjeni z FSW

1.1 - Predstavitev FSW

Varjenje FSW za **Arhitekturo in gradbeništvo** kjer se lahko uporablja za:

- Talne obloge
- krove
- steze
- hodnike
- stene
- platnene strehe
- vremenske zaščite
- Viseče sisteme
- nosilce

1.1 - Predstavitev FSW



Gradbeništvo - baldahin izdelan s FSW



Mostiček in vremenski ščit

1.1 - Predstavitev FSW

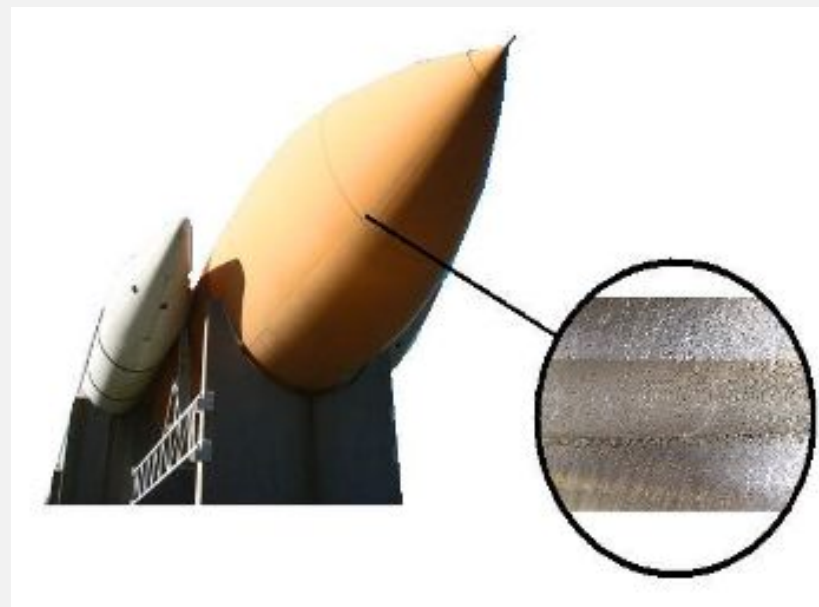
FSW za **Letalstvo** se lahko uporablja za:

- cisterne za gorivo vesoljskih plovilih
- rampe
- Aluminijske plošče
- sendvič sklope
- Podvozja in vrata
- Tanke za goriva
- krila

1.1 - Predstavitev FSW



Vesoljska industrija - letalo - obloga



rezervoar za raketno gorivo

1,1 - Predstavitev FSW

Postopek tornih vmeša Varjenje se lahko uporablja za:

- Ohišja Motor in zvočnike
- hladilna rebra
- Ogrevanje, prezračevanje in klimatske naprave
- posode z vakuumsko
- Sušenje pladnji - živilska industrija
- Bakrene posod za jedrske odpadke

1.1 - Predstavitev FSW

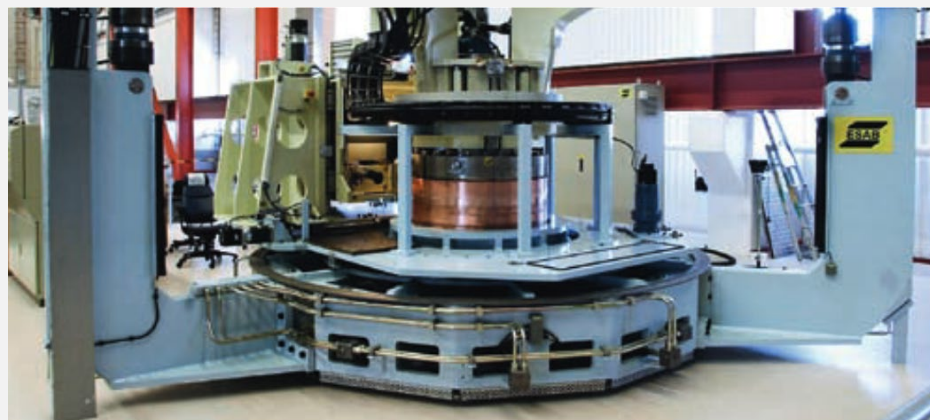
FSW se lahko tudi uporablja za:

- Ohišja motorja in zvočnike
- hladilna rebra
- Ogrevanje, prezračevanje in klimatske naprave
- posode za vakuumsko tehniko
- Sušilne pladnje - živilska industrija
- Bakrene posode za jedrske odpadke

1,1 - Predstavitev FSW

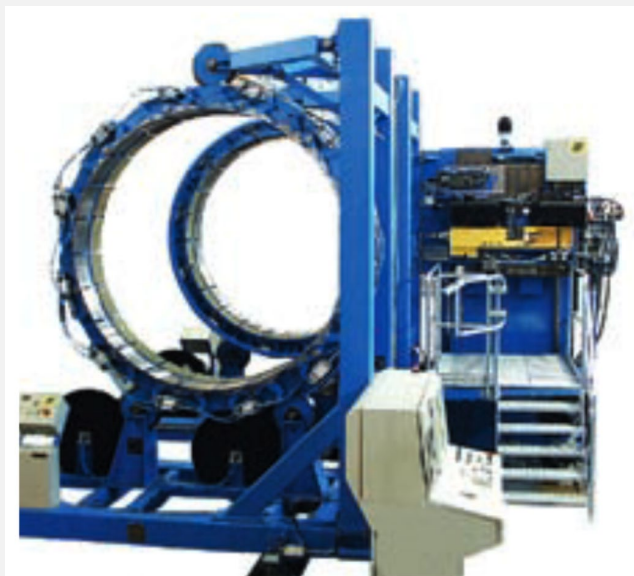


1.1 - Predstavitev FSW

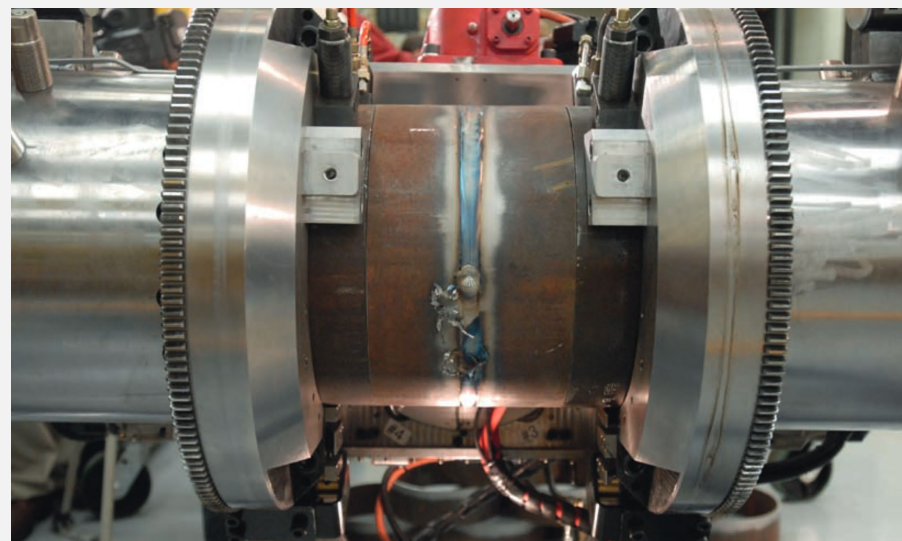


Jedrska industrija - Bakrena posoda z litoželeznim vložkom za jedrsko gorivo varjena s FSW

1.1 - Predstavitev FSW



Obodno varjenje



Orbitalni FSW varjenje jeklenih cevi

1.1 - Predstavitev FSW



1.1 - Predstavitev FSW

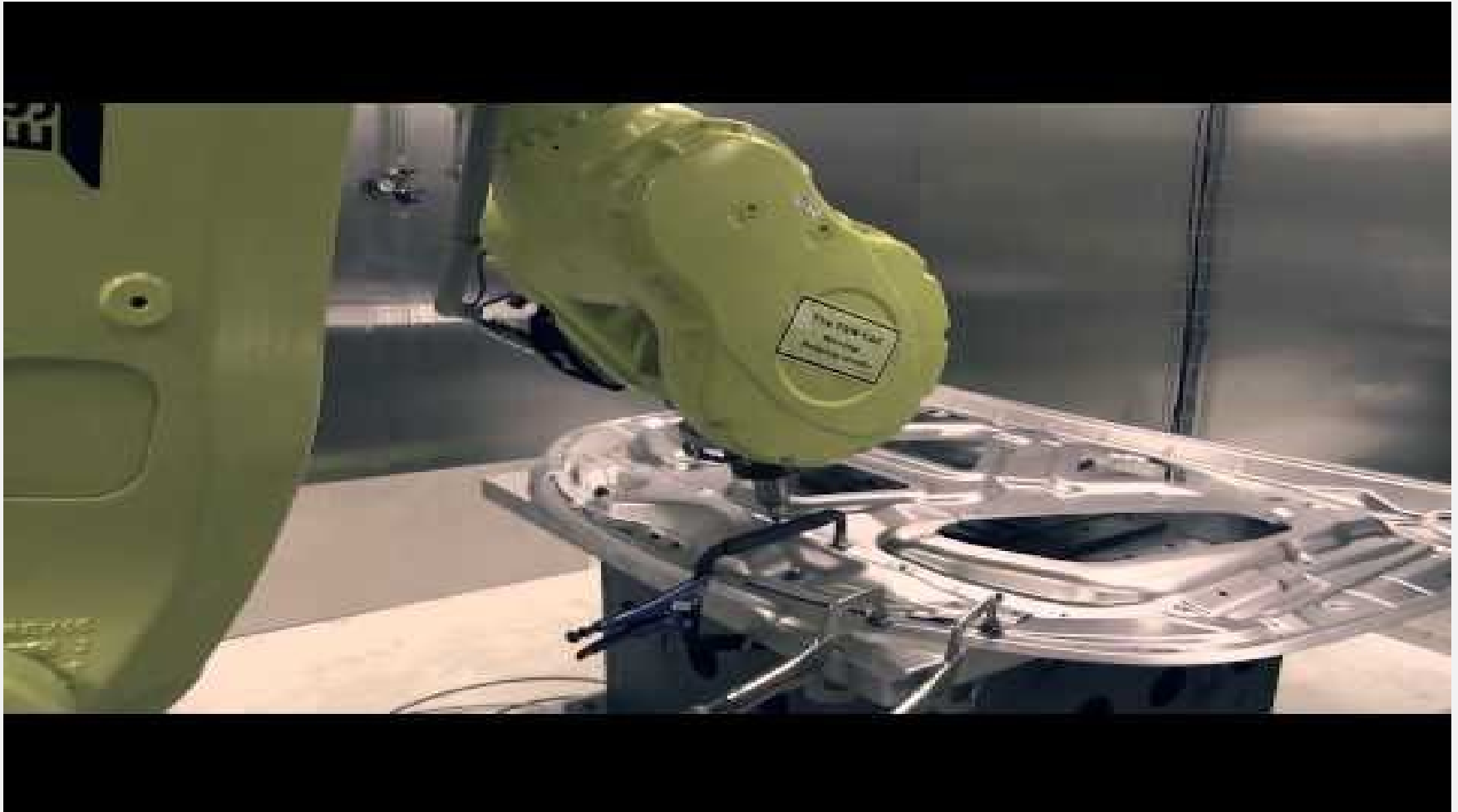


Polnjena izhodnja luknja

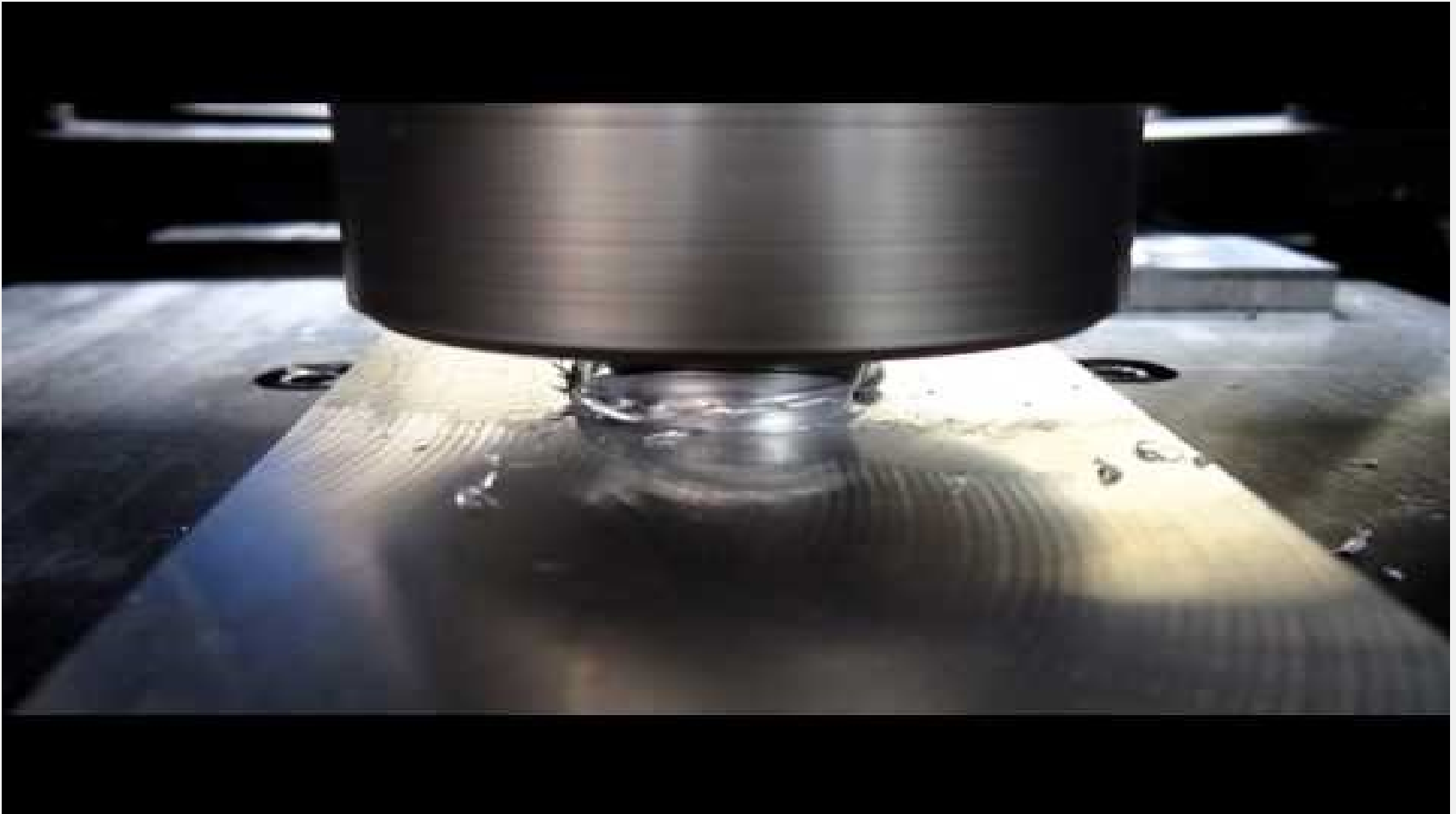


Tandem FSW izstopne luknje

1.1 - Predstavitev FSW



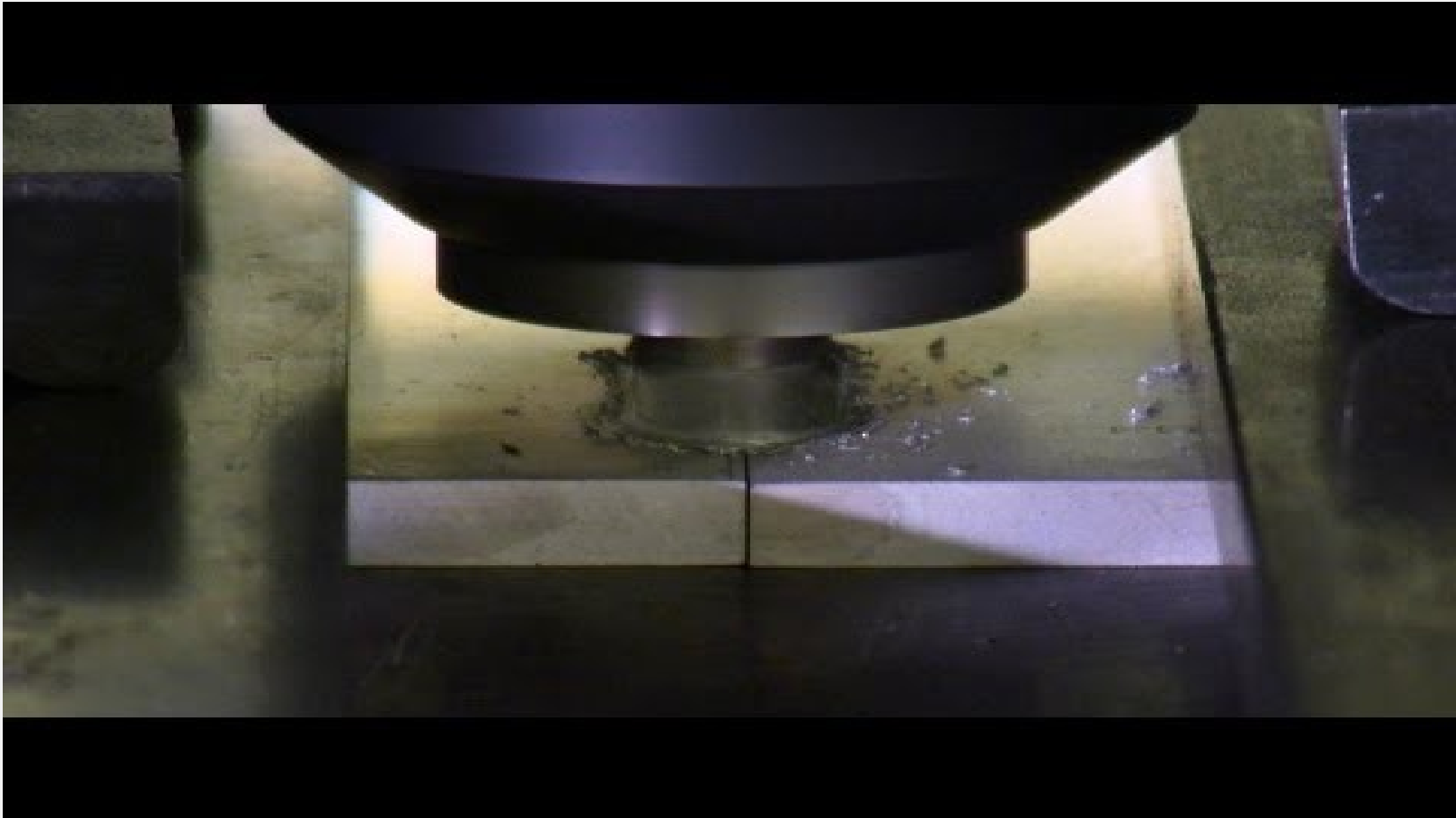
1.1 - Predstavitev FSW



1.1 - Predstavitev FSW



1.1 - Predstavitev FSW

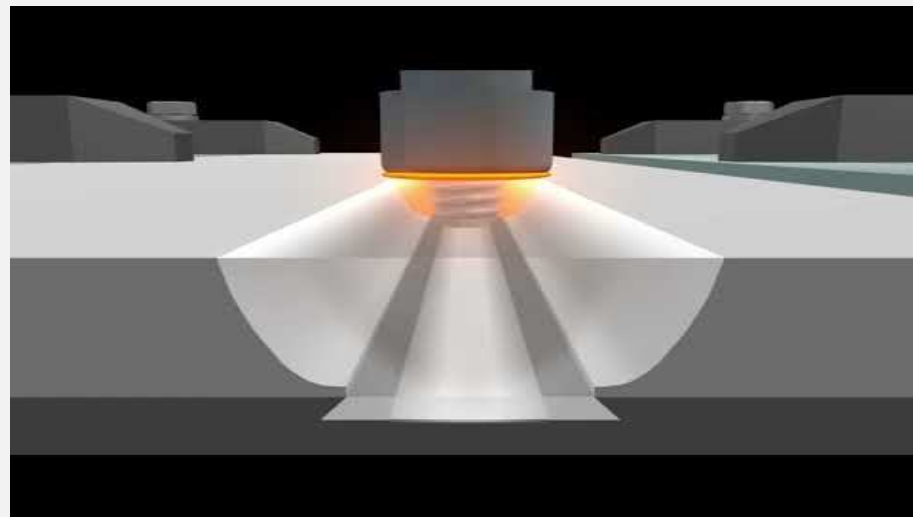
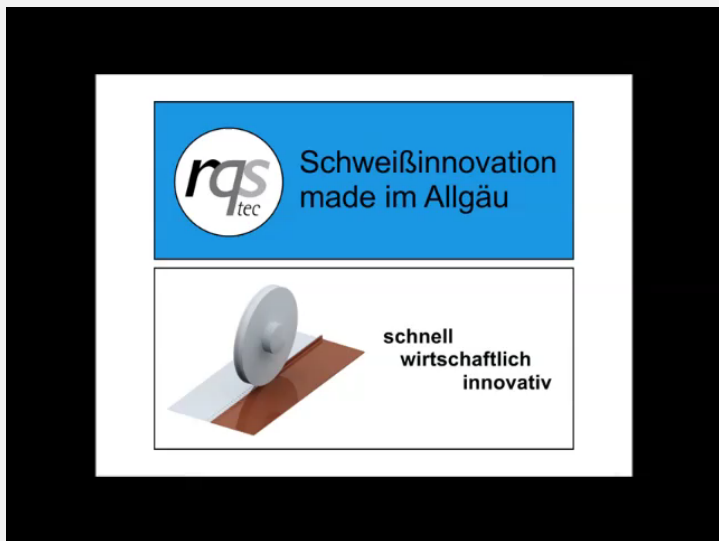


1.1 - Predstavitev FSW

Razvit na osnovi FSW

Torno varjenje s stiskanjem (ger. Reibquetschschweißen)

FSW s prepletenostjo



1. FSW Osnove

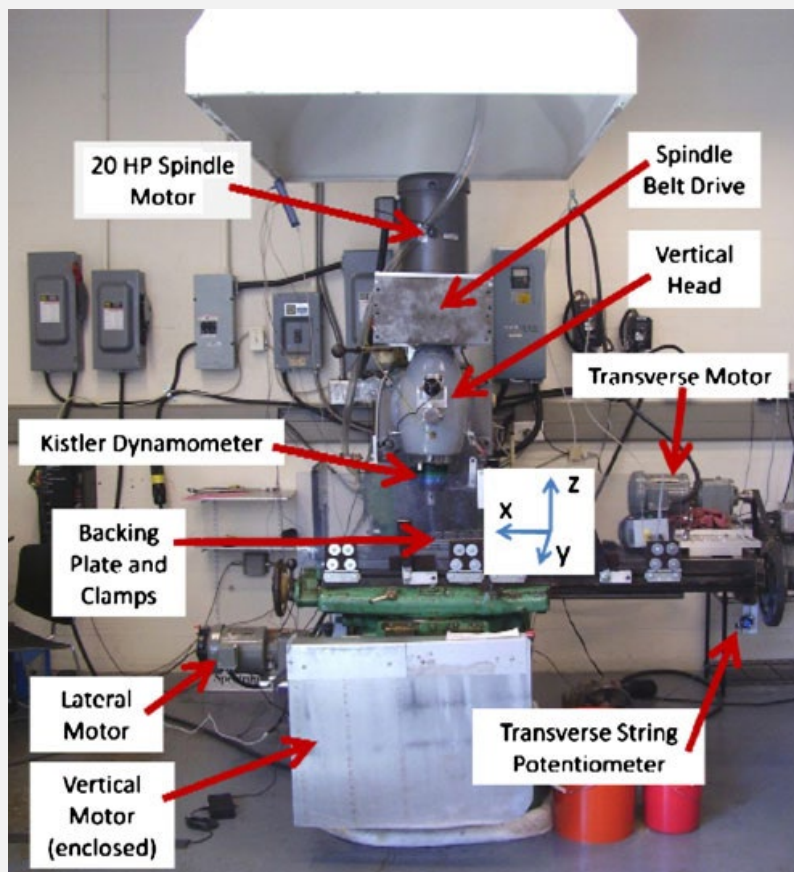
1.2 - varjenje oprema

1.2 - varilna oprema

Osnovne komponente sistema vključujejo:

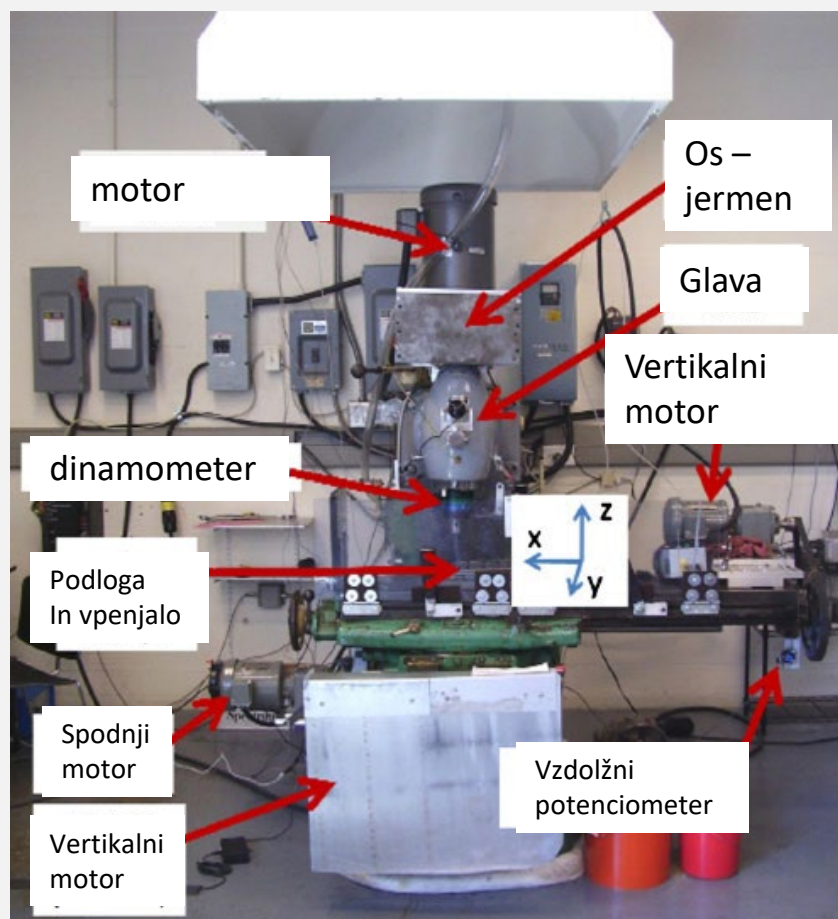
- vreteno,
- motorje,
- Mehanizem za motorni pogon,
- FSW orodje.

1.2 - varjenje oprema



Primer konfiguracije sistema FSW

1.1 - Predstavitev FSW



Primer konfiguracije sistema FSW

1.2 - varilna oprema

Dodatne funkcije, ki jih lahko vključene v stroju, vključujejo:

- CNC krmiljenje,
- spremljanje proizvodnje,
- spremljanje temperature,
- sledenje,
- Plinska zaščita,
- Stroj za fiksiranje,
- Data Acquisition System,
- Kontrola višine.

1.2 - varjenje oprema

Navadni strojna orodja

- Nizka začetna cena
- Prilagodljivost je mogoče izboljšati z uvedbo dodatnih motorjev (dodatna DOF)
- Togost stroja - je treba okrepiti
- Potrebne so kontrole sila rešitve, da se prepreči poškodbe opreme, zagotovitev varnosti ljudi in za doseganje dobre kakovosti zvarov

Prilagojeno rezkalni stroj za FSW



1.2 - varilna oprema

Robotski FSW stroji

- visoka ponovljivost in prilagodljivost
- relativno nizko ceno
- 3D poti varjenje
- avtomatizacija procesov

- nizka natančnost, ki se poslabša, ko so izpostavljeni visokim obremenitvam
- relativno nizka togost in zmerne zmogljivosti obremenitev

Zglobni roboti



1.2 - varilna oprema

Robotski FSW stroji

- podpira večje obremenitve
- občutno večjo togost od zgibne roke robota
- 3D poti varjenje
- avtomatizacija procesov

- njihova cena lahko precej višja, in njihov obseg je znatno manj kot robota

Paralelni-kinematični robot

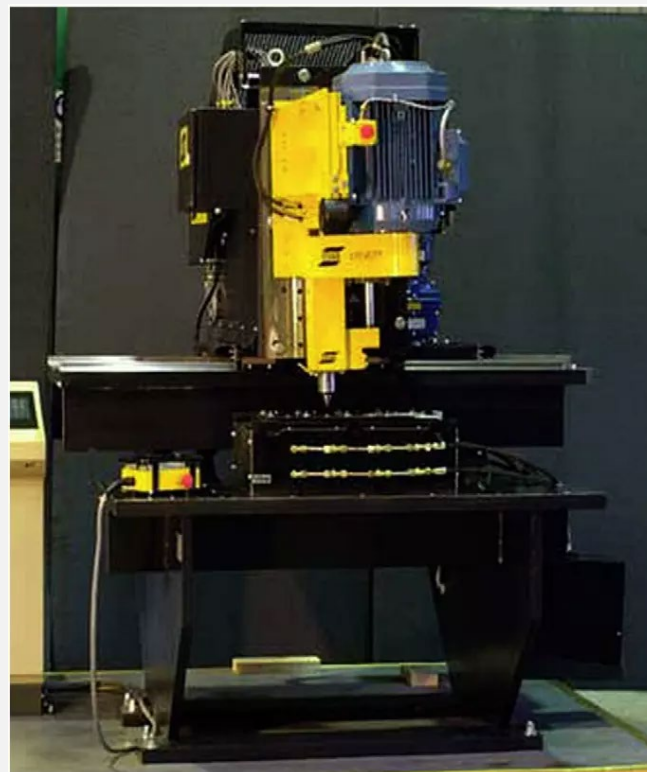


1.2 - varilna oprema

Namenske FSW stroji

- Možnost visoke obremenitve, togost, natančnost in razpoložljivost
- možne različne konfiguracije tako predstavljajo raven prožnosti
- namenske FSW stroji so najbolj zanesljive in strukturno toge stroji (varjenje visoke temperature materialov)
- precej drago in njihovi stroški povečanje s povečanjem prožnosti

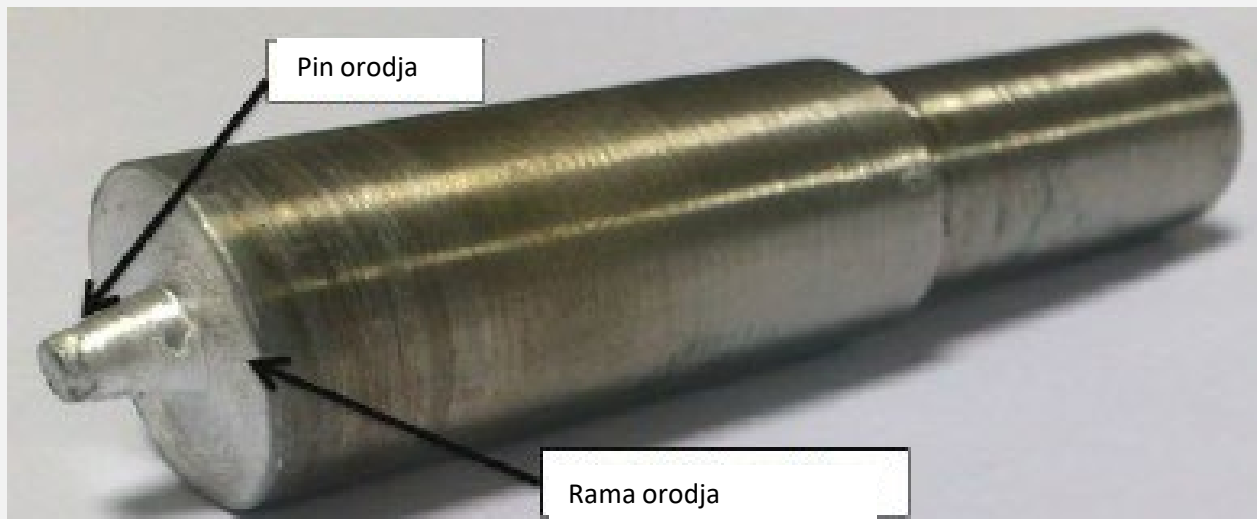
Namenski FSW stroj



1.2 - varilna oprema

	rezkalni stroj	FSW stroj	vzporedno robot	zglobni robot
prilagodljivost	nizka	Nizko / Srednje	visoka	visoka
Stroški	srednje	visoka	visoka	nizka
togost	visoka	visoka	visoka	nizka
obseg dela	srednje	srednje	nizka	visoka
čas Setup	nizka	visoka	srednje	srednje
Število programskih možnosti	nizka	srednje	visoka	visoka
Sposobnost za izdelavo zahtevnih zvarov	nizka	srednje	visoka	visoka
Tip Control	Predlog	Predlog / sila	Predlog	Predlog

1.2 - varilna oprema



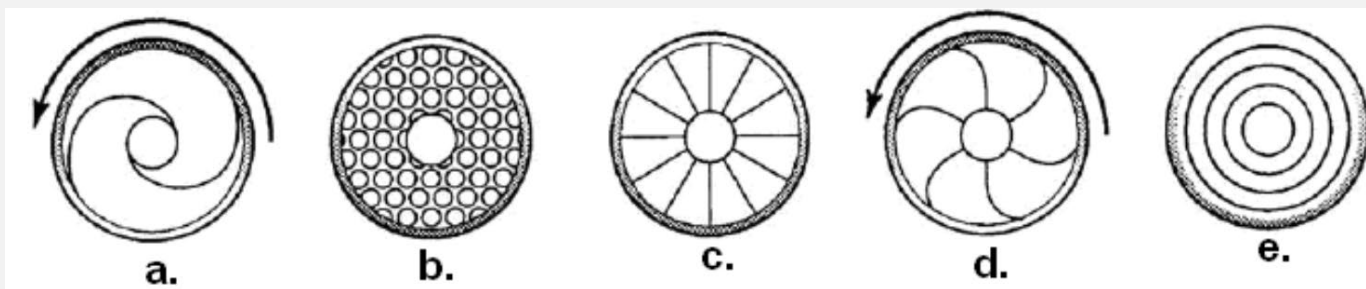
Primer geometrije orodja

1.2 - varjenje oprema



Različne vrste pin geometrij

1.2 - varjenje oprema



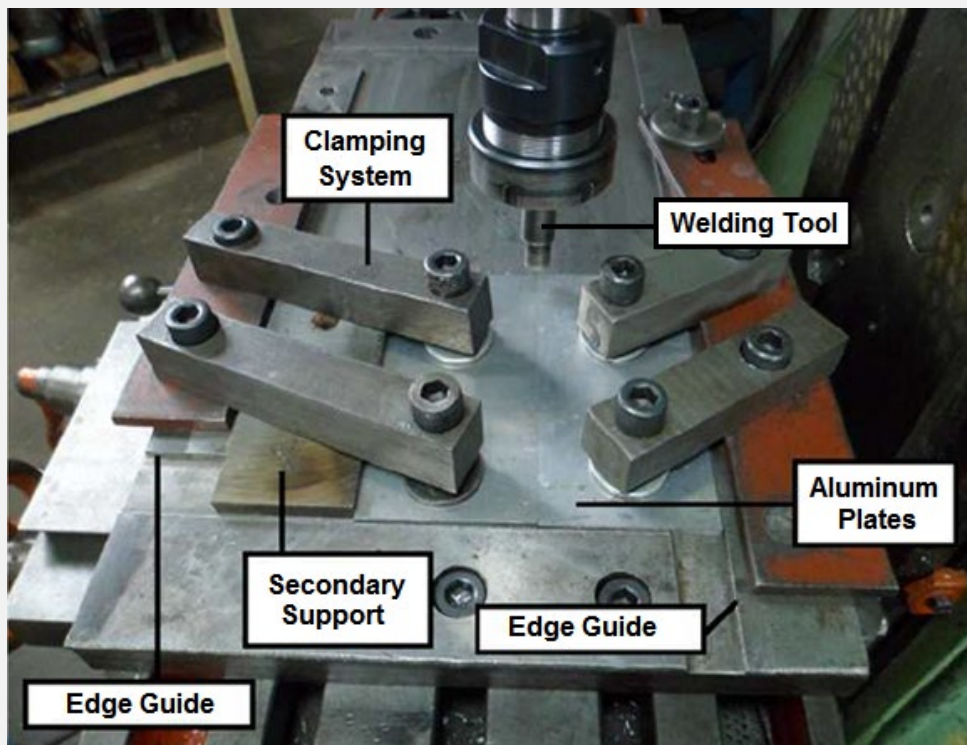
Različne funkcije rame (zgoraj) in primer izbočeno in se pomika rama (od spodaj)

1.2 - varjenje oprema

Možni vpenjalne naprave vključujejo:

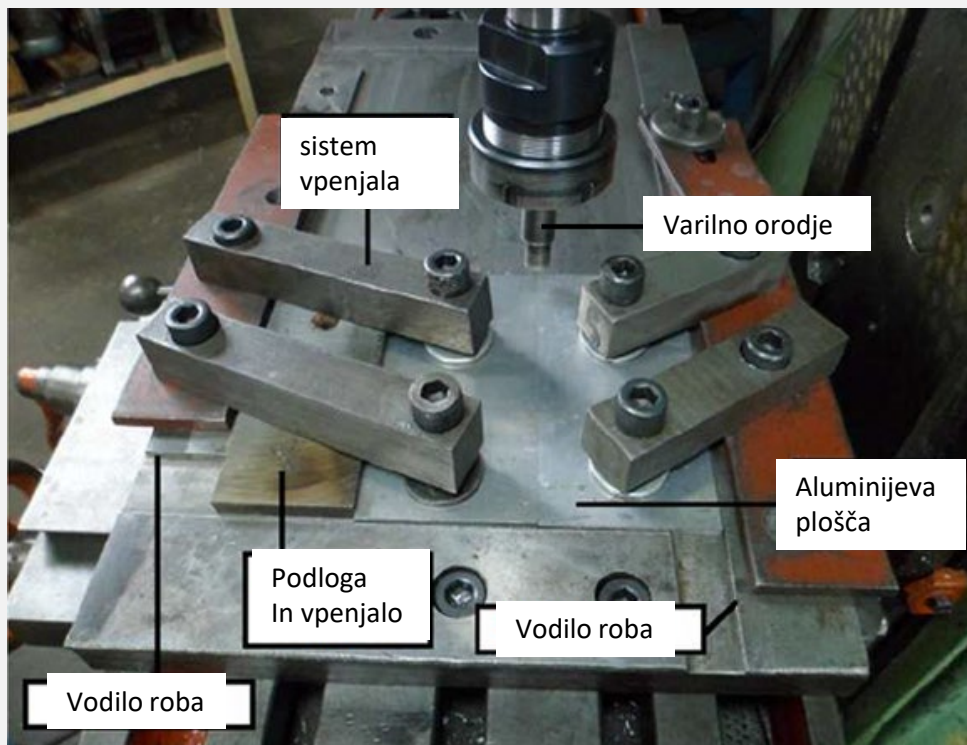
- Vpenjalna kremplje
- Hidravlični in pnevmatični sistemi
- Vakuumska vpenjalna sistemi

1.2 - varjenje oprema



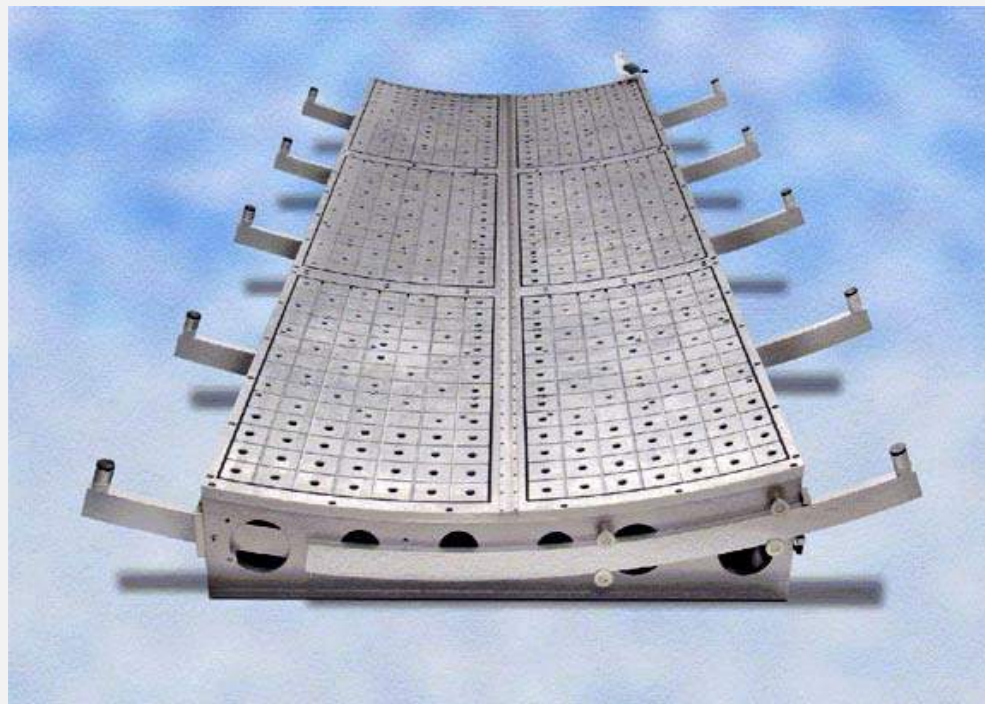
Vpenjalni sistem

1.2 - varilna oprema



Vpenjalni sistem

1.2 - varilna oprema



Sistem Vakuumska Vpenjalna

1.2 - varilna oprema

Ključne komponente na FSW stroju, vključujejo:

- varilne glave in njegov motor,
- vodila in njenih sestavnih delov,
- hidravlične enote.
- Načrti za vzdrževanje, preglede in popolna dokumentacija mora zagotoviti, dolgoročno delovanje brez težav

1.2 - varilna oprema

Ključne komponente FSW stroju, vključujejo:

- Varjenje glavo in njegovo motorja
- Vodila in njenih sestavnih delov
- hidravlične enote

Načrti za vzdrževanje, preglede in popolna dokumentacija mora zagotoviti, dolgoročno delo brez težav.

1. FSW Osnove

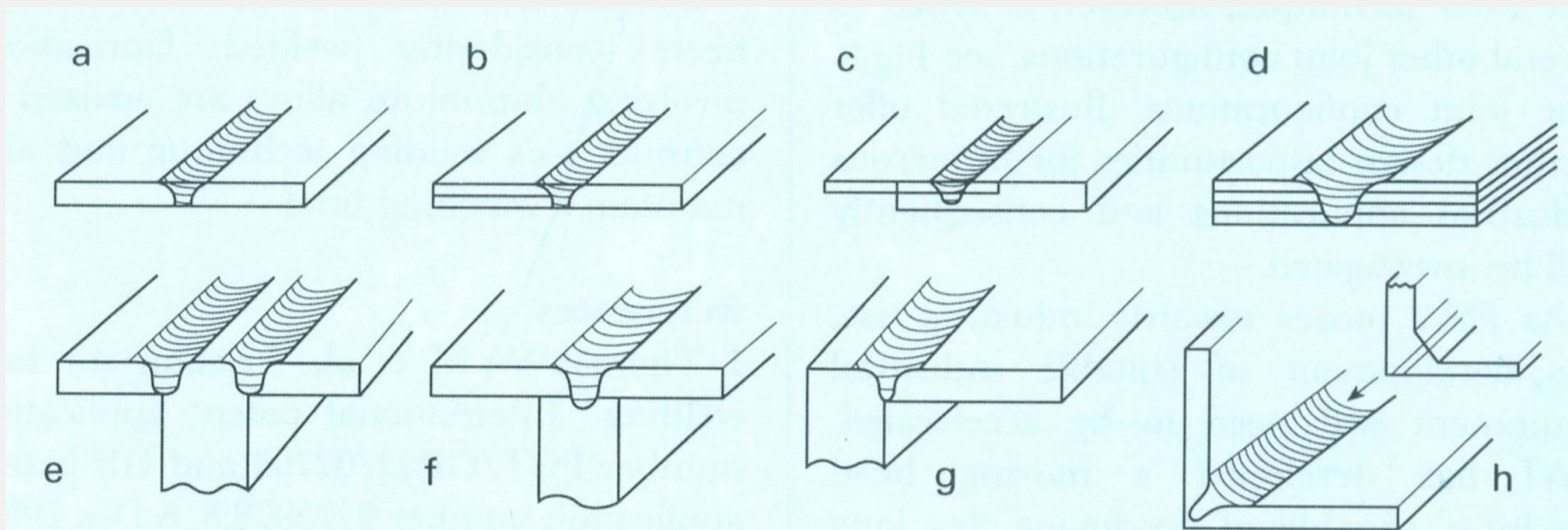
1.3 - varilni postopek

1.3 - varilni postopek

Oblikujte posledice FSW:

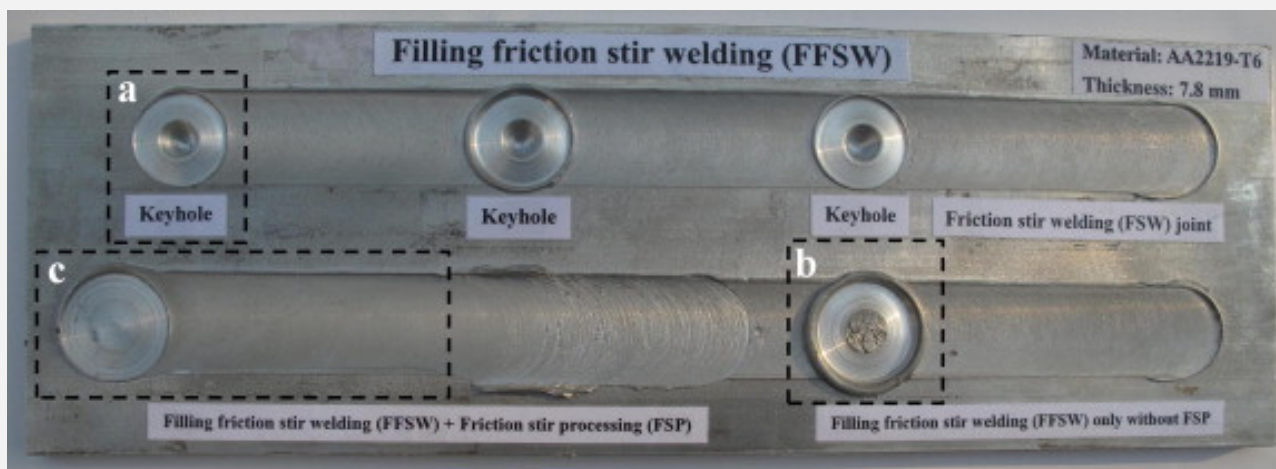
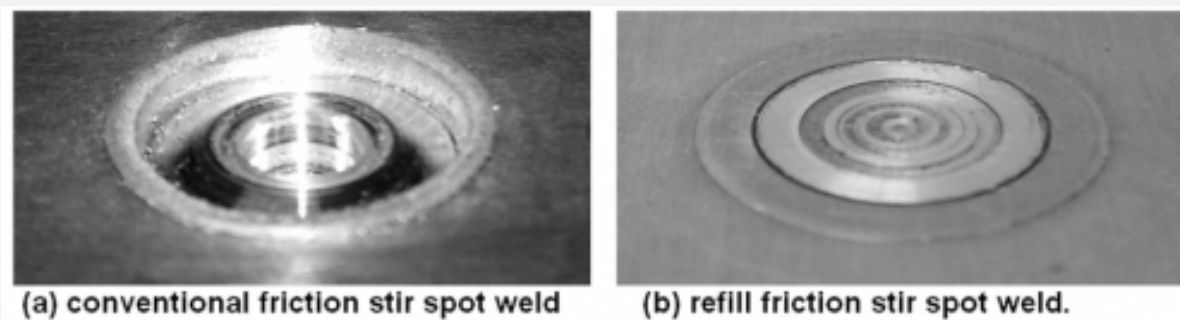
- mehanske omejitve
- omejitve pritrdilnih
- Omejitve oblikovanja
- keyhole omejitve
- Omejitve debeline obdelovanca in osnovni material
- Material

1.3 - varilni postopek



Možne skupne konfiguracije: sočelno (a), (B) in (c) sočelno večplastno (D). T spoj (f) T kotni (g) kotni (h)

1.3 - varilni postopek

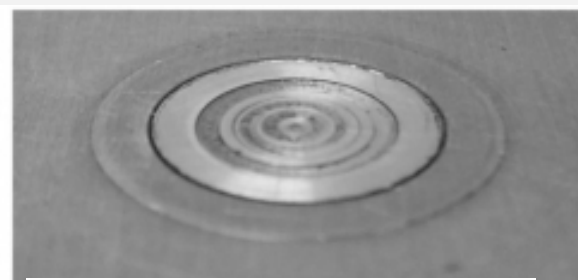


Polnjenje ključavnico

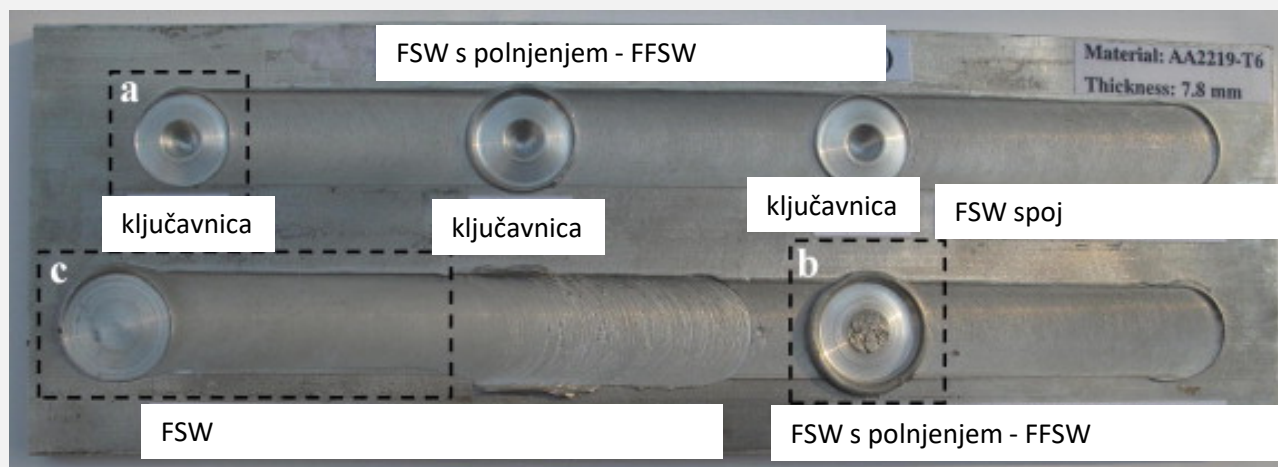
1.3 - varilni postopek



FSW brez polnjenja

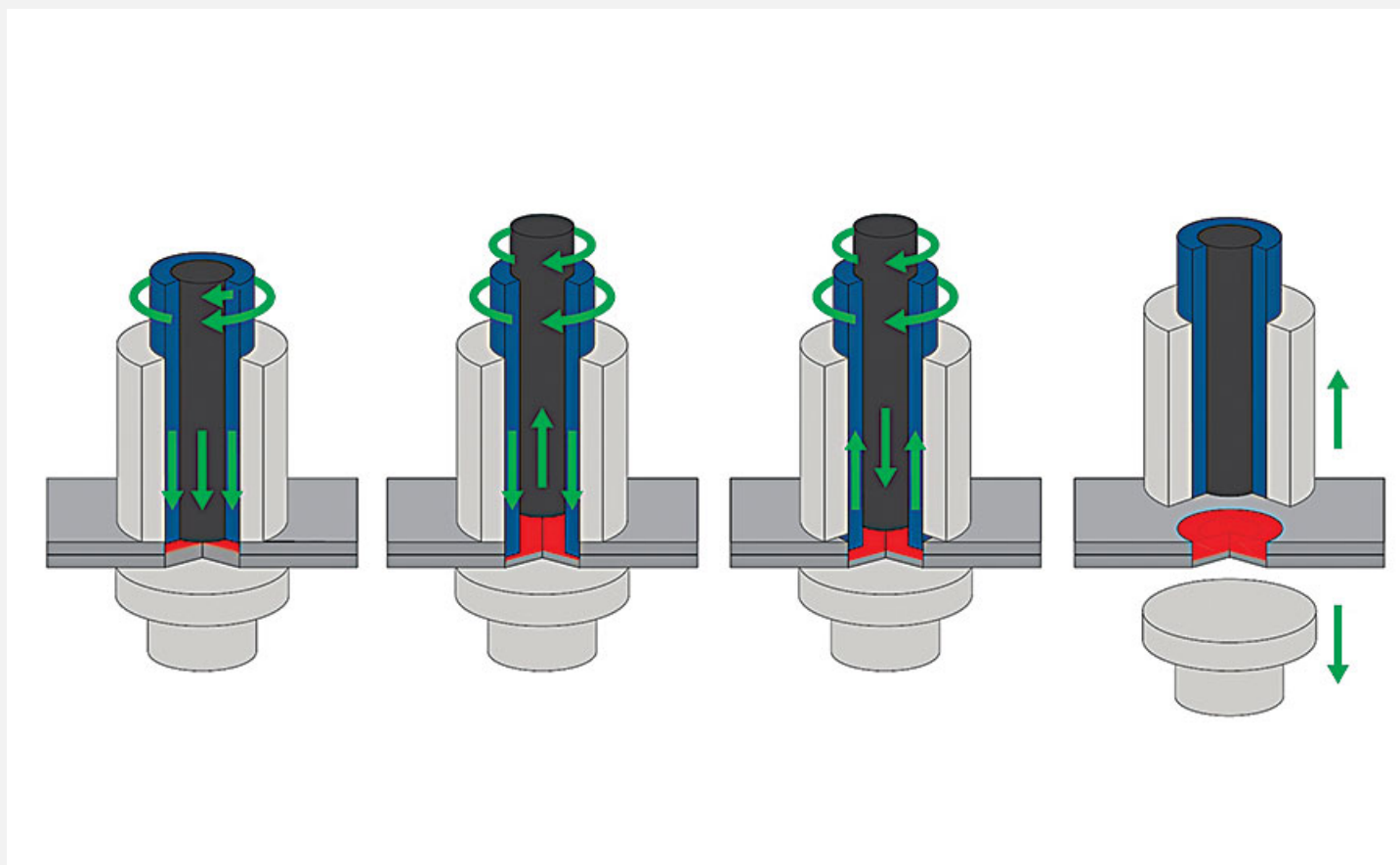


FSW s polnjenjem - FFSW



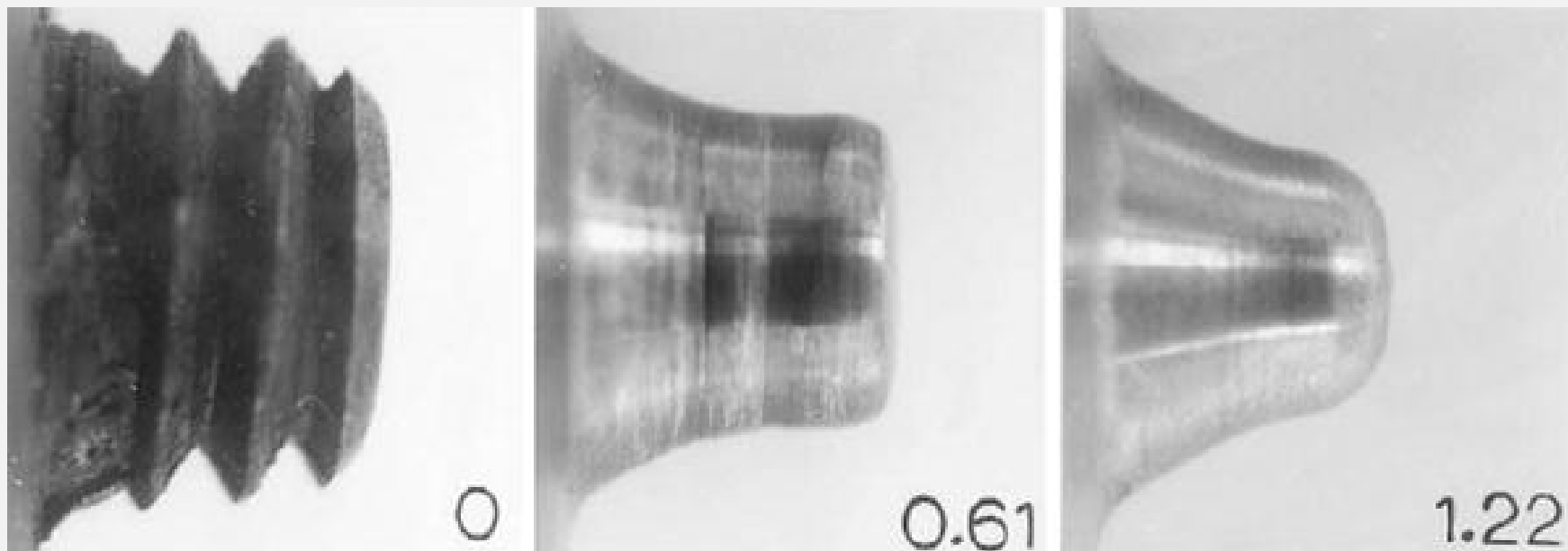
Polnjenje ključavnice (key-hole)

1.3 - varilni postopek



Polnjenje FSW Postopek

1.3 - varilni postopek



Obraba orodja

1. FSW Osnove

1.4 - Osnovni materiali

1.4 - Matična materiali

- FSW se lahko uporabljajo v spajanje materialov, kot so aluminij, baker, magnezij, jeklo, termoplastov in titana.
- Prav tako je možno opraviti neenake materialno varjenje.
- Varjenje točkovnih snovi z visokim tališčem, je bolj težko, saj je varilni material orodja delajo v težkih pogojih delovanja.

1.4 - Osnovni materiali

- Togost in ravnanje sile so glavni dejavniki za FSW stroja, ki omejuje debelino obdelovanca. Debelina materiala mora biti v območju od 0,8 mm do 65 mm.

Alu	Debelina, mm	Material orodja
aluminijeve zlitine	<12	Orodno jeklo, WC-Co
	<26	MP159
magnezijeve zlitine	<6	Orodno jeklo, WC
Baker in zlitine	<50	Nikljeve zlitine, PCBN, volframove zlitine
	<11	orodnega jekla
titanove zlitine	<6	volframove zlitine
Nerjaveče jeklo	<6	PCBN, volframove zlitine
Nizko-legiranih jekel	<10	WC, PCBN
nikljeve zlitine	<6	PCBN

Reference

Zdrs:

[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., in Mistikoglu, S. (2014). Nedavni dogodki v trenja premešamo varjenje Al-zlitin. Journal of Materials Engineering in uspešnosti, 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>

Reference

Zdrs:

[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, SA, Mirsalehi, SE, Omidvar, H., & Safarkhanian, MA (2015). Polnilne izstopne luknje trenja mešamo varilne preklopnih spojev uporabljajo potrošne pin orodja. *Znanost in tehnologijo varjenja in spajanja*, 20 (4), 330-336.

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

[36] Longhurst, WR, Strauss, AM, Cook, GE, & Fleming, PA (2010). Nastavitev momenta trenja mešamo varjenje za proizvodnjo in avtomatizacijo. *Mednarodna list napredne proizvodne tehnologije*, 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., NetoP., Loureiro, A., & Moreira, AP (2016). Stroji in kontrolni sistemi za trenja mešamo varjenje: pregled. *Materials & Design*, 90, 256-265.

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

[42] [40] Mendes, N., NetoP., Loureiro, A., & Moreira, AP (2016). Stroji in kontrolni sistemi za trenja mešamo varjenje: pregled. *Materials & Design*, 90, 256-265.

[43] Maria Asli Sicilan in S. Senthil Kumar "Analiza površinske kakovosti zvari Trenje mešamo uporabljajo za obdelavo slik tehnike" Mednarodno konferenco o novih trendih v Engineering & Technology, Travancore Engineering College, Kollam, Kerela, Indija. 03/2014

Reference

Zdrs:

- [44] <http://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2011/tools.html>
- [45] Pasha, A., Reddy, R., LaxminarayanaP., & Kan IA (2014). VPLIV PROCESNIH IN TOOL PARAMETROV NA trenja mešamo VARJENJE, kot pogled. Int J aplikacijeEng Technol, 4 (3), 54-69.
- [47] Pastor, A., & Svoboda, HG (2013). Časovno razvoj toplote prizadetega območja (TVP) trenja mešamo zvarov AA7075-T651.
- [48] https://www.aerospace-technology.com/contractors/sub_contract/horst/attachment/horst3/
- [54] Han, B., Huang Y. IvS., WAN, L., Feng, J. & Fu, G. (2013). AA7075 bit za popravilo AA2219 skozi luknjo tako, da izpolnite trenja premešamo varjenje. Materiali & 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, BL, Ni, DR, & Ma, ZY (2014). Trenje mešamo varjenje diskontinuirano ojačane aluminijaste kompozitov: pregled. actaMETALLURGICA sinica (English Letters), 27 (5), 816-824.
- [59] Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, Friction Stir Varjenje in predelavo, ASM International, 2007