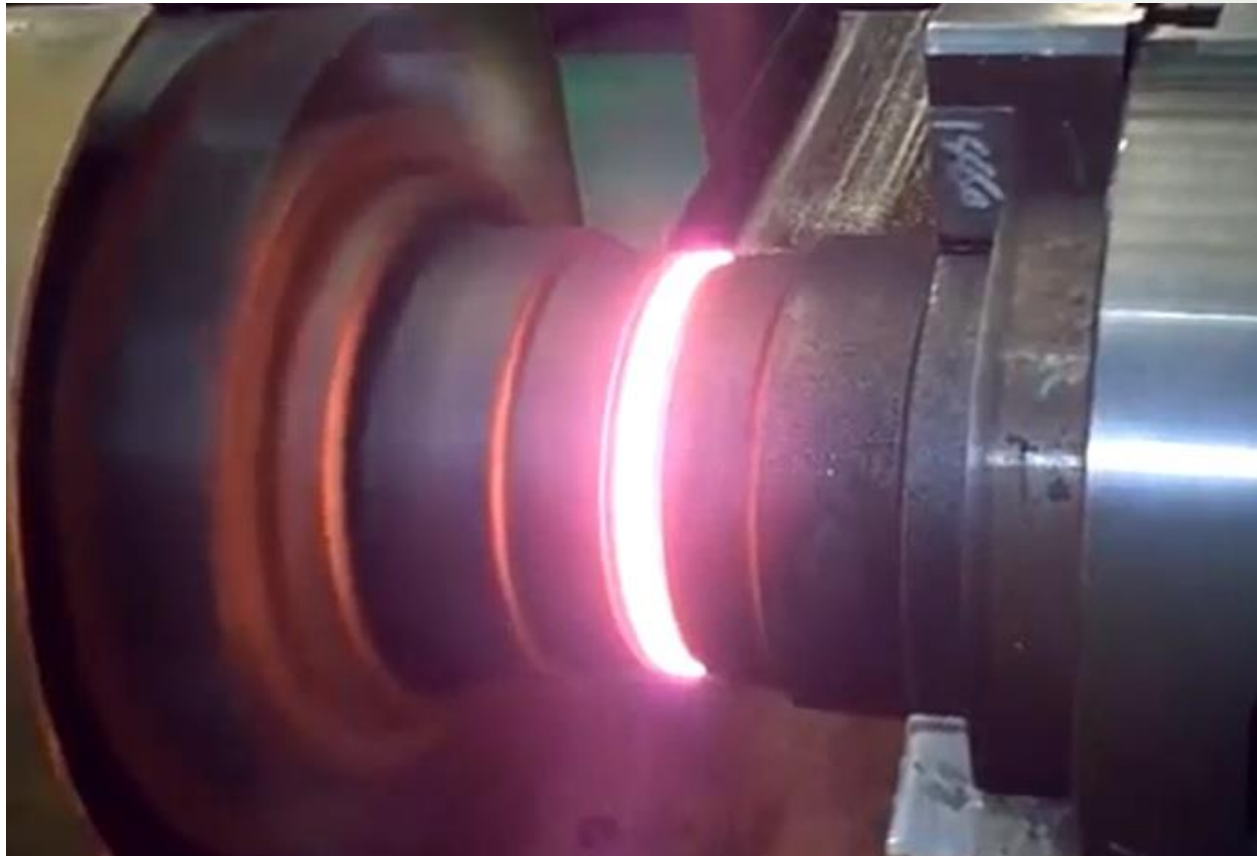


# Otázka B15 - Svařování třením a svařování metodou FSW (Friction Stir Welding)



*doc. Ing. Jaromír MORAVEC, Ph.D.*

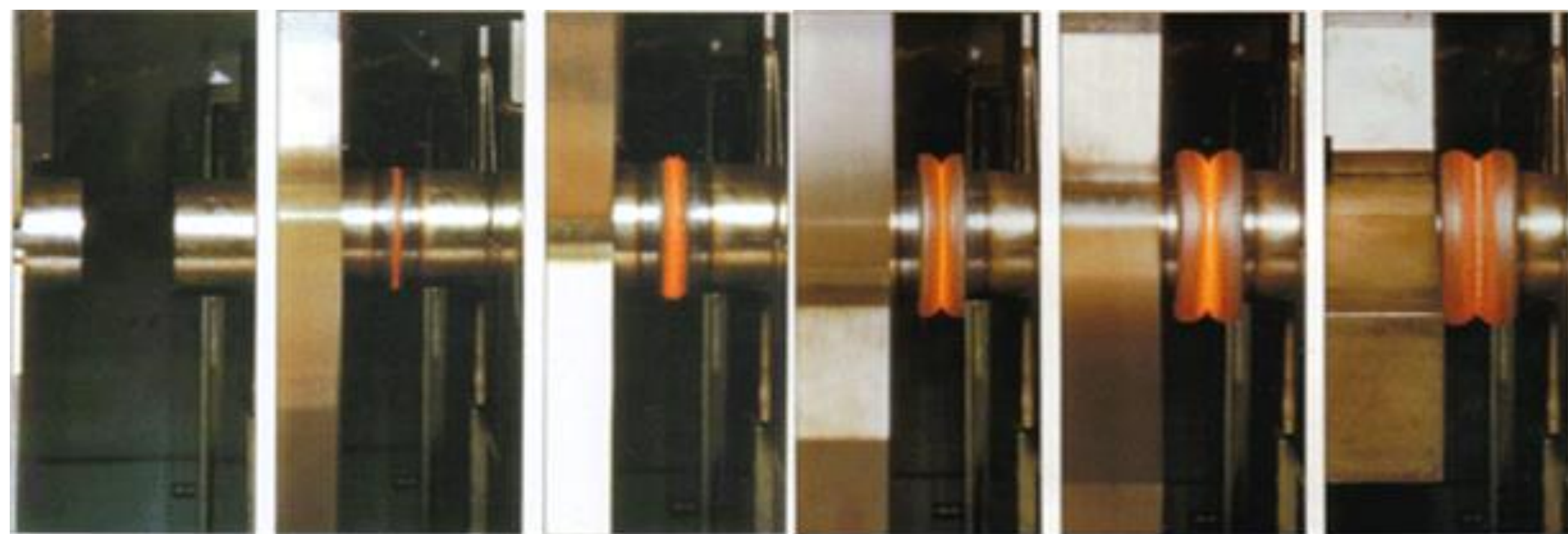
*Ing. Martin Švec, Ph.D.*

*Ing. Šárka Bukovská*

# Fyzikální podstata – třecí svařování

Třecí svařování je charakterizované tím, že spojení **nastává v důsledku plastické deformace za tepla**, ale ještě v tuhém stavu. Teplo vzniká přeměnou mechanické energie na energii tepelnou.

Většinou se jeden díl otáčí a druhý fixovaný je přitlačován. Nejprve dochází k počátečnímu kontaktu svarových ploch (b) při zatížení axiální silou (první fáze). Při druhé fázi (c) narůstají místa zadírání a vytrhávání materiálu. Poté (d) dochází k zadírání se a vytrhávání po celém stykovém povrchu, což vede k intenzivnímu ohřevu spojovaných dílů (třetí fáze). Následuje zastavení rotace (e) za současného zvýšení měrného tlaku na kovací hodnotu a konec svařování (f) kdy dochází k relaxaci svarového spoje.

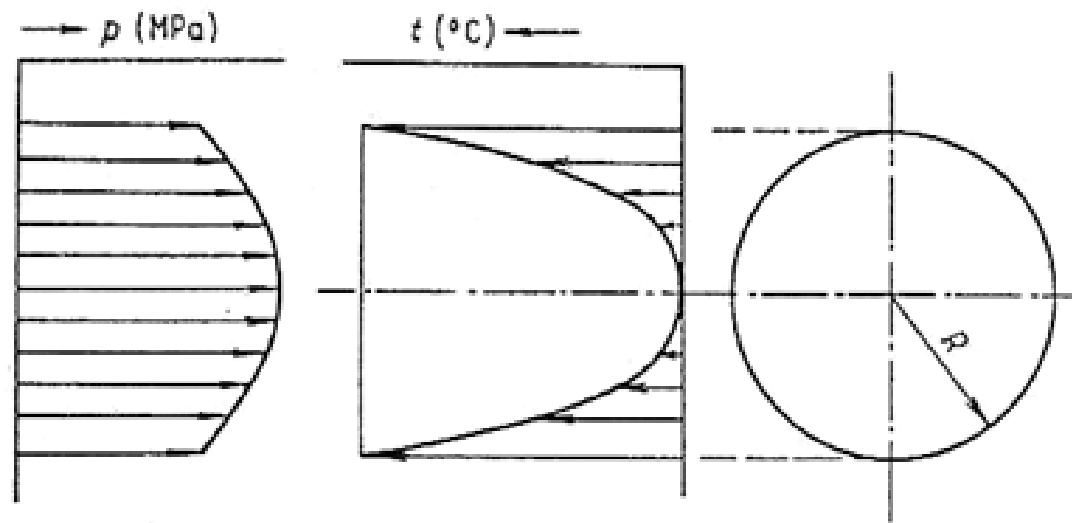


# Fyzikální podstata – třecí svařování

Tření je složitý fyzikální jev. Součinitel tření totiž není konstantní a závisí na více ukazatelích (vlastnosti kovů, geometrie a čistota povrchů, parametry svařování atd.).

U drsnějších povrchů je součinitel tření větší než například u povrchů jemně obrobených. Při tření hladkých povrchů (broušené) však dochází ke zvýšení součinitele tření v důsledku působení molekulových sil třoucích se povrchů.

Dost podstatný vliv na průběh tření mají povrchové vrstvy svarových ploch. Tvrdé oxidické vrstvy snižují hodnotu součinitele tření. Po odstranění těchto vrstev vzrůstá součinitel tření zhruba na dvojnásobek.



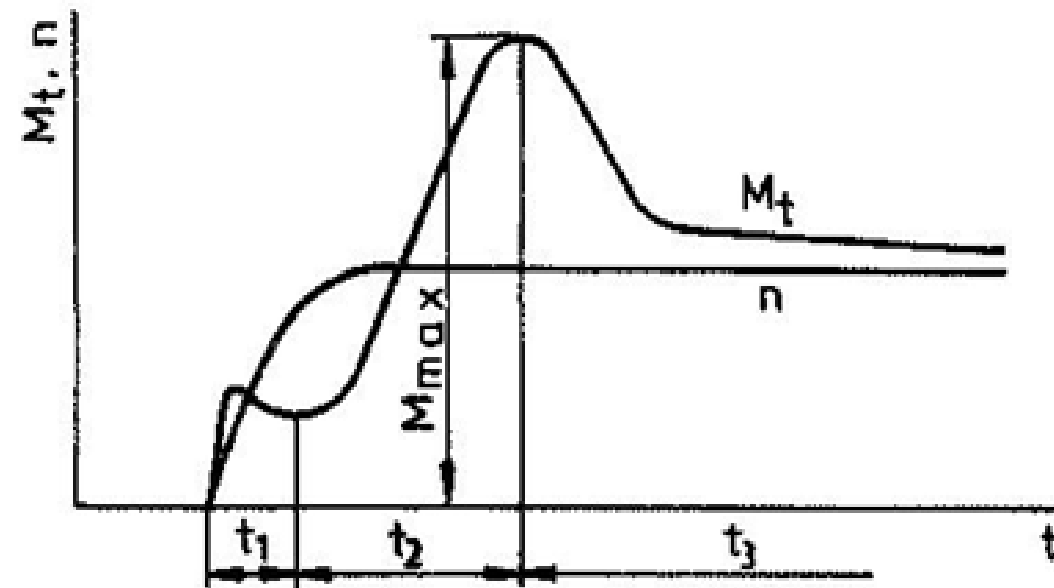
K vývinu tepla dochází na svarových plochách, nebo ve vrstvě určité tloušťky (řádově desetiny milimetru). V případě rotace svařovaných dílů vzniká více tepla směrem k okrajům, kde je vyšší obvodová rychlost.

# Fyzikální podstata – třecí svařování

**První fáze ( $t_1$ )** – je charakterizována suchým třením, odstraňují se nerovnosti, zvětšují se dotykové plochy. Dochází také k rozrušení vrstvičky kysličníků na stykových plochách, zamezí se jejich dalšímu vzniku (kysličníky snižují součinitel tření a jsou příčinou vzniku malého množství tepla). V této fázi, vzniká asi jen 1% tepla ve spoji, potřebné k ohřevu materiálu.

**Druhá fáze ( $t_2$ )** – narůstají místa zadírání a vytrhávání materiálu, dochází k ohřevu velmi tenké povrchové vrstvičky materiálu na teplotu  $A_{c3}$ . Během této fáze vznikne asi 12% tepla potřebného k vytvoření svaru.

**Třetí fáze ( $t_3$ )** – rozšiřuje se zadírání a vytrhávání po celém stykovém povrchu, což vede k intenzivnímu ohřevu spojovaných dílů, k úbytku a vytlačování materiálu a ke vzniku výronku. V této fázi vzniká největší množství tepla potřebného k vytvoření svaru, přibližně 86 až 87 %.



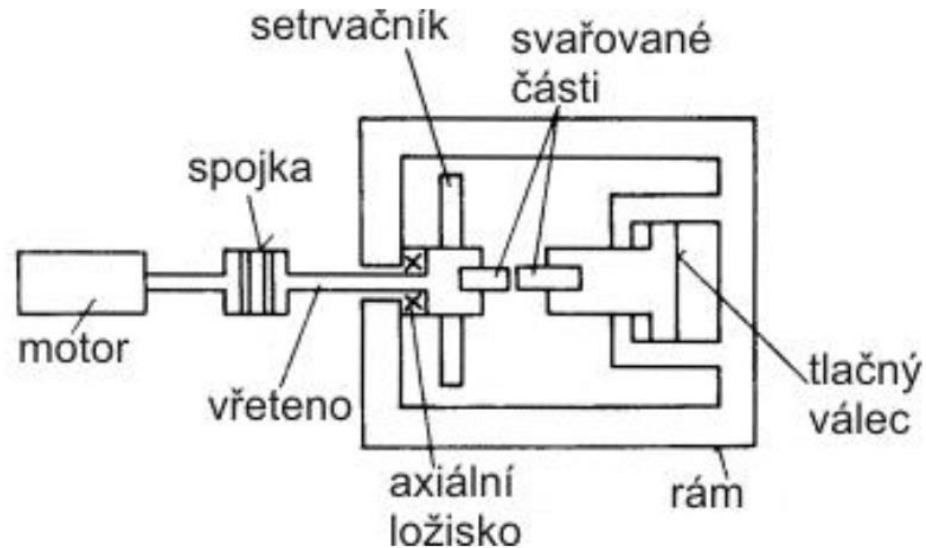
# Princip technologie

V technické praxi můžeme třecí svařování z hlediska vzniku svaru rozdělit na **dvě základní technologie**, přičemž obě se týkají pouze rotačního pohybu. Pro ostatní třecí pohyby (kmitavý, oscilační, orbitální), je třeba konstruovat speciální stroje.

- **Konvenční způsob třecího svařování (stálý Mk)**
- **Setrvačnickové (inerční) svařování (postupně ztrácí E)**

Setrvačnickové svařování se vyznačuje vysokými hodnotami tlaku a krátkým svařovacím časem.

Pro konvenční třecí svařování jsou charakteristické nízké hodnoty měrného tlaku a několikanásobně delší svař. čas





# Aplikace a využití svařování třením

Kromě spojování kovů se dá třecí svařování využít i pro spojování keramiky a skla s kovy. Největší podíl tvoří rotační součásti typu hřídelí, čepů, trubek, válců atd. Lze spojovat libovolné profily (např. čtvercového nebo šestihranného tvaru i součásti s přesně definovaným tvarem), protože mikroprocesorem řízené svařovací zařízení kontroluje a nastavuje požadovaný úhel natočení. Vzhledem ke krátkému svařovacímu času a vysokým pořizovacím nákladům na zařízení musí být zajištěna hromadná nebo velkosériová výroba součástí.

Aplikací třecího svařování je velmi mnoho například v automobilovém průmyslu (kardanové hřídele, řídicí tyče, pastorky, ventily spalovacích motorů, hnací hřídele, tlumiče, hřídele turbodmychadel, vačkové hřídele atd), v oblasti těžebního průmyslu (vrtné tyče, uzavírací ventily a trubkové systémy) atd.

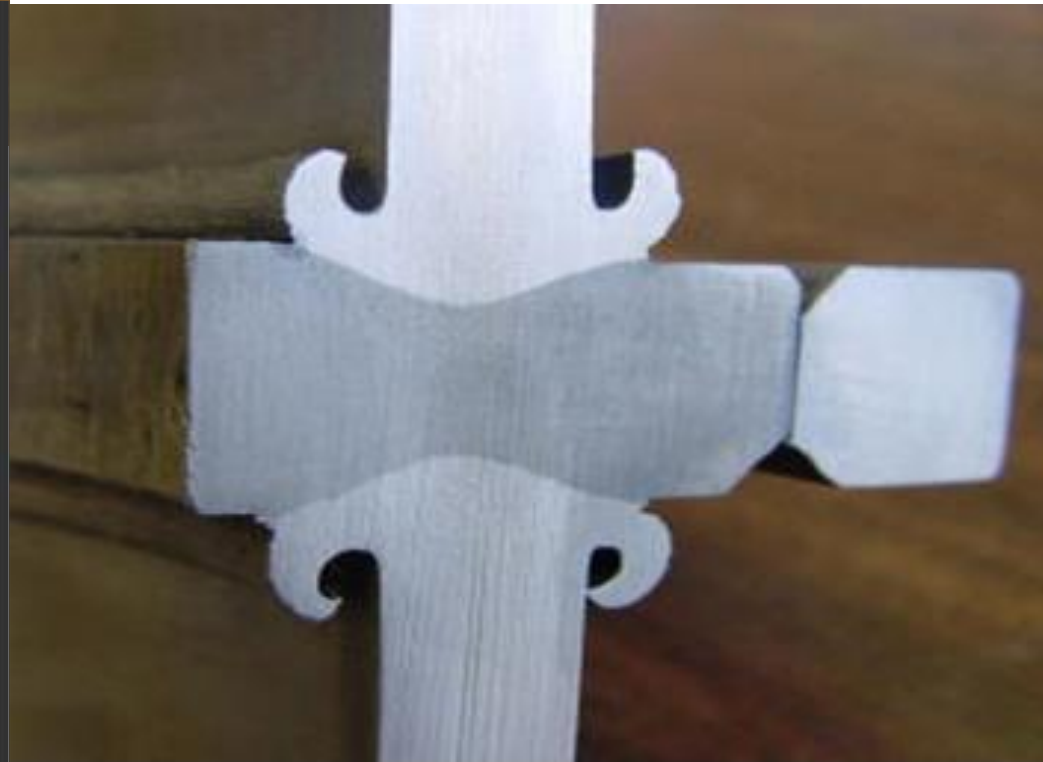
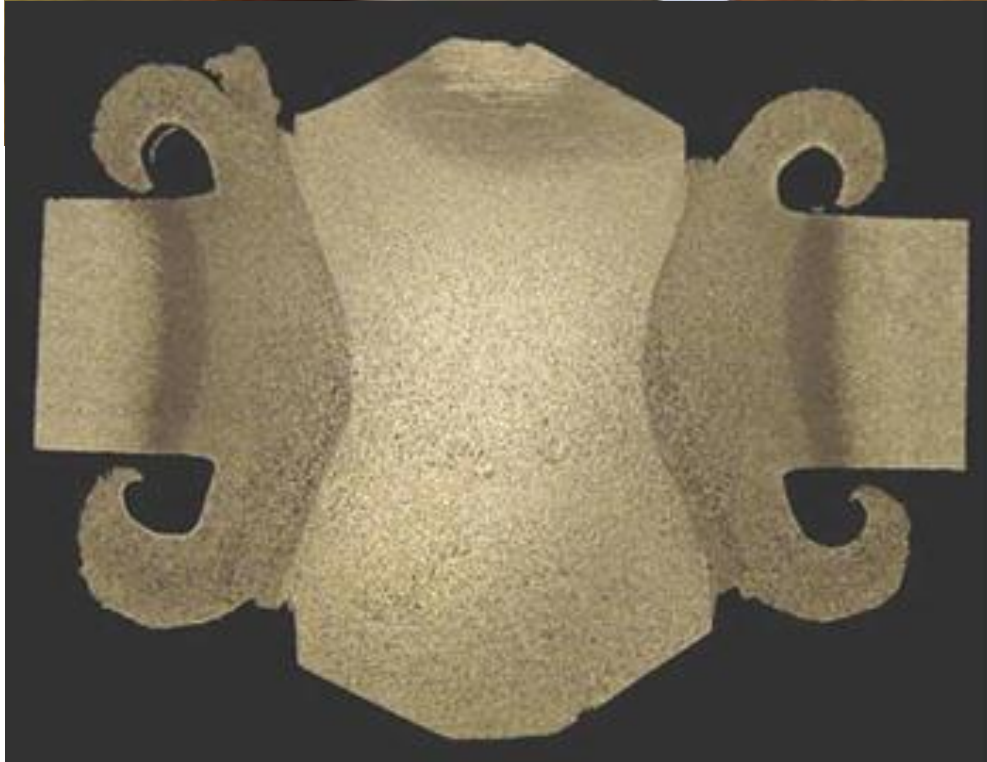
## **Výhody svařování třením oproti klasickým technologiím tavného svařování:**

- Ohřev svařovaných materiálů v úzké oblasti.
- Nedochozí k vypalování legur.
- Základní materiály se netaví, nevzniká licí struktura, ani trhliny za tepla.
- Při svařování zpravidla dochází ke zjemnění zrna.
- Svař. velkého množství materiálů a jejich kombinací, nesvařitelných klasicky.
- Vlivem termomechanické zpracování v procesu svařování vykazují svarové spoje velmi dobré mechanické vlastnosti.
- Značná úspora elektrické energie oproti ostatním metodám – vysoká účinnost.

# Ukázky svarů a aplikací TS

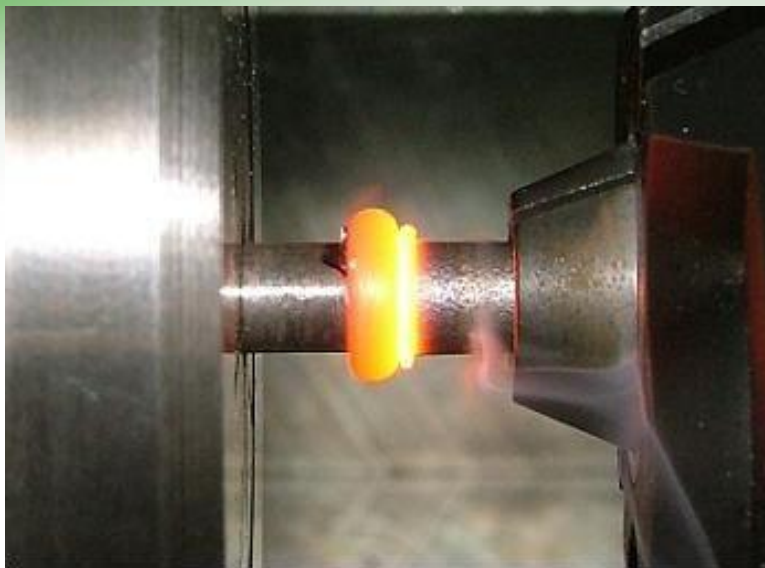


Svary vytvořené rotačním třením konvenčním způsobem na prstencích průměru 141,3 mm. Jedná se o svarový spoj uhlíkové oceli s materiálem X42, X52 a X70. Tloušťka prstence z uhlíkové oceli je 12 mm, svařovací čas je 20 sekund.





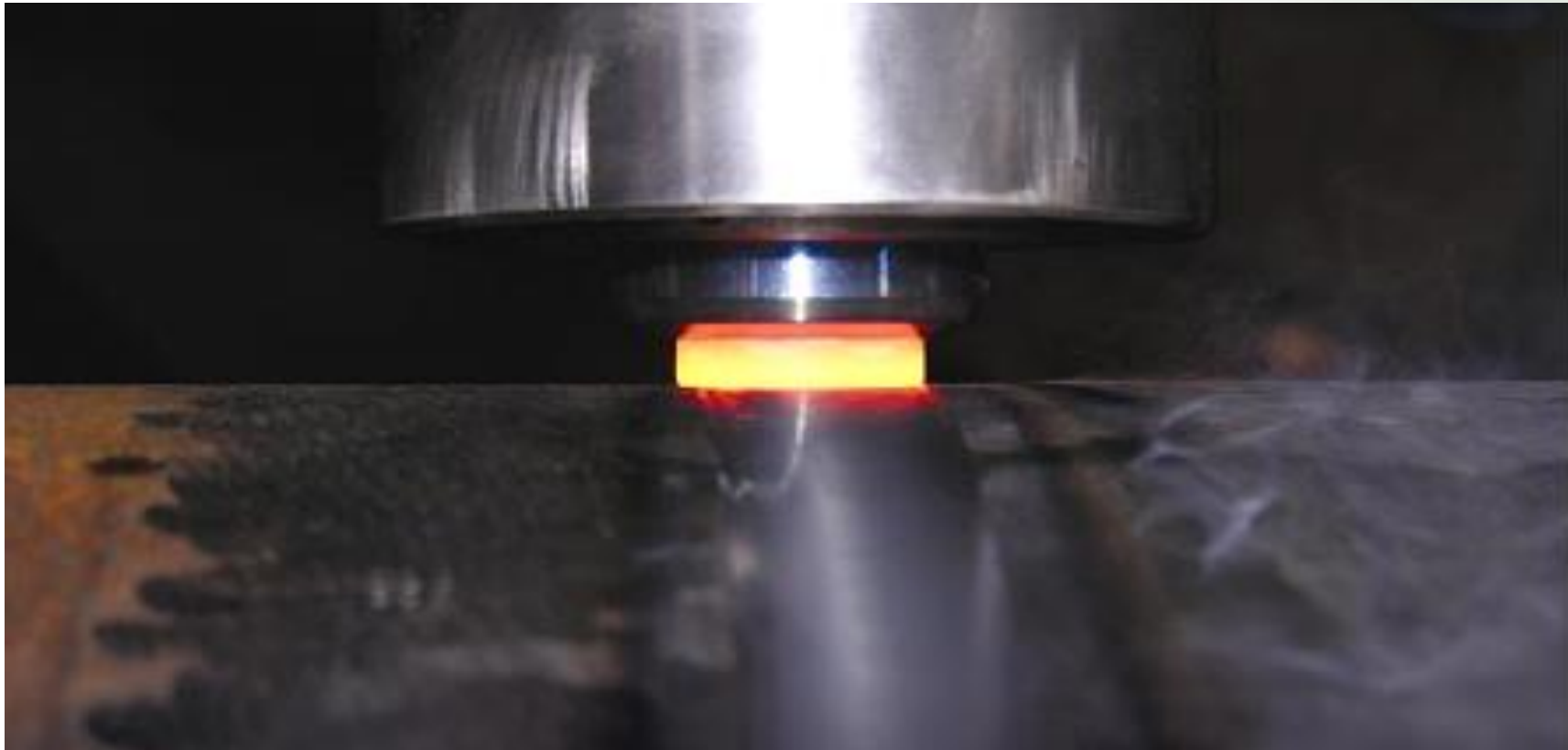
# Ukázky svarů a aplikací TS





# FSW – Friction Stir Welding

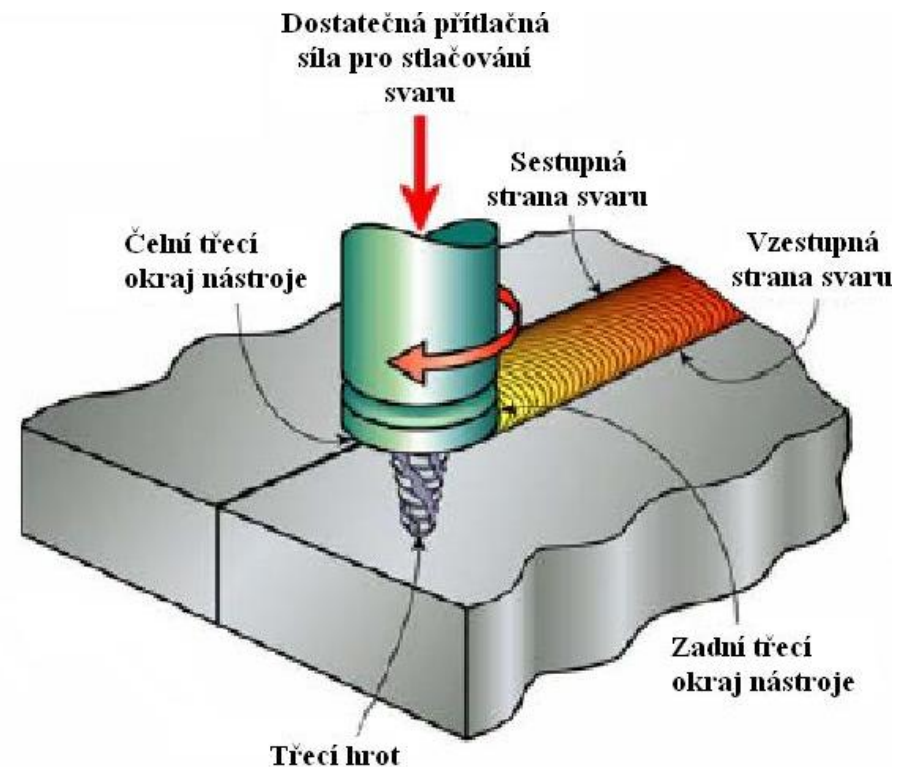
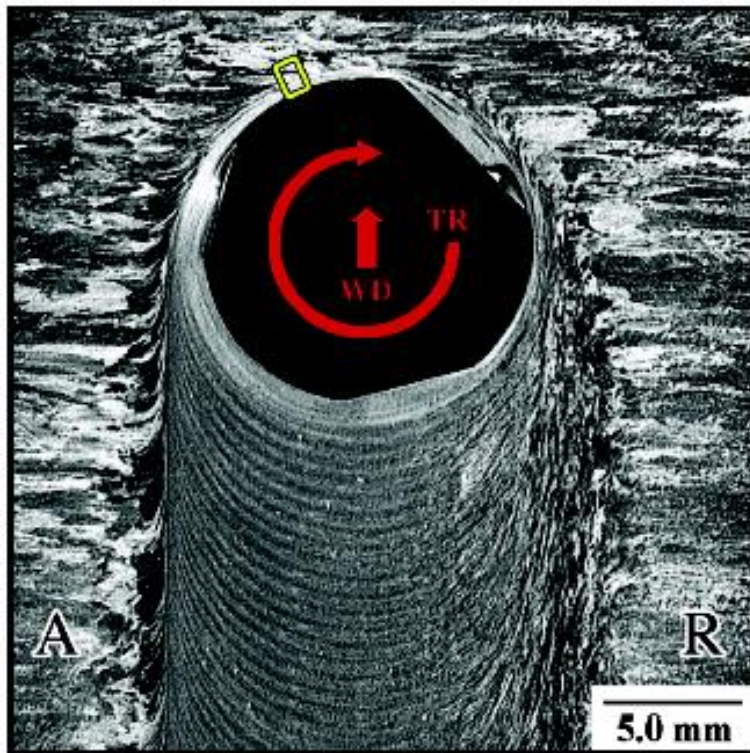
*( Třecí svařování promísením rotujícím nástrojem )*



# Princip technologie

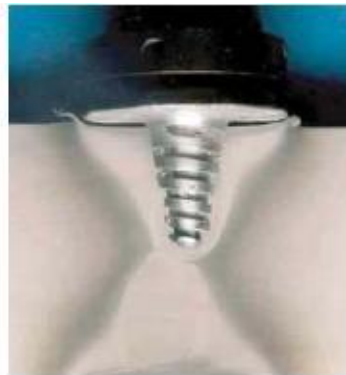
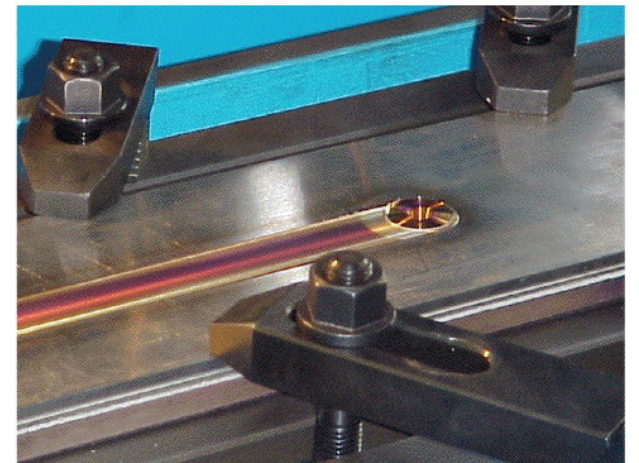
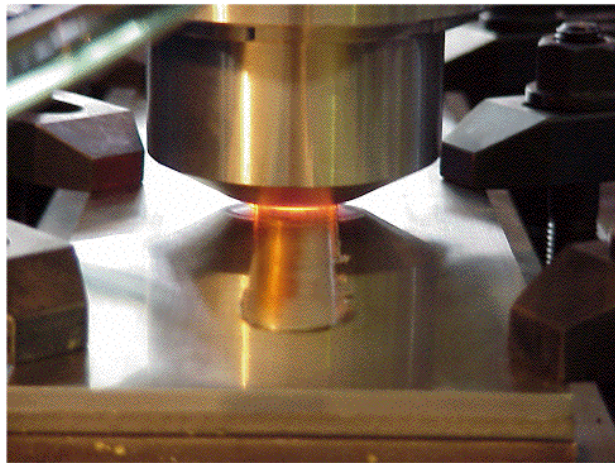
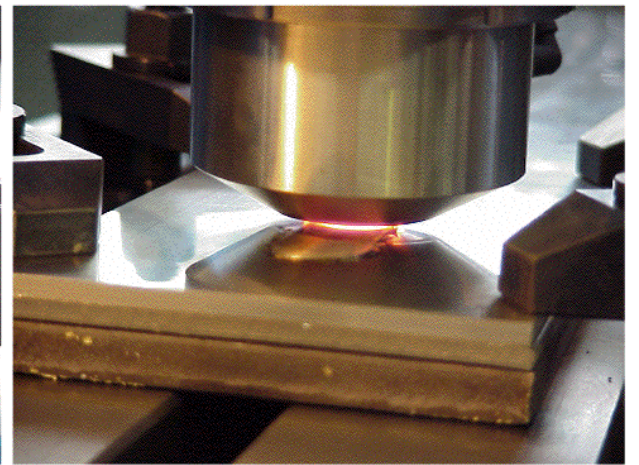
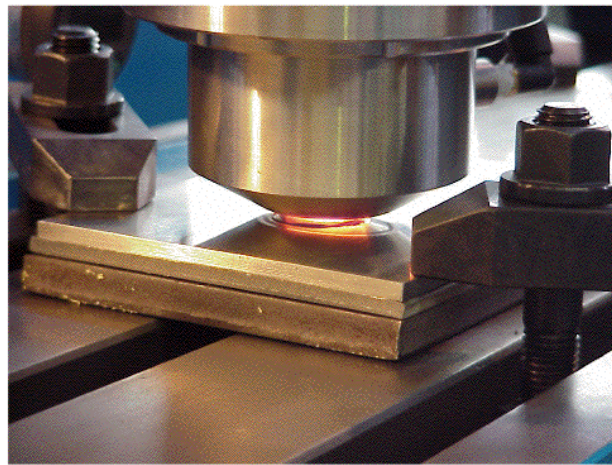
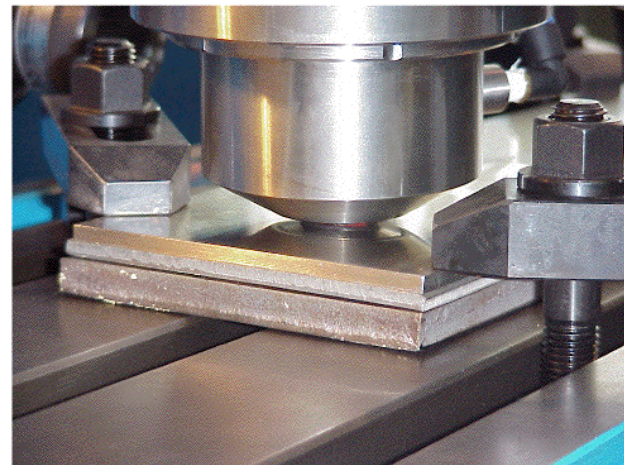
Při svařování FSW se nástroj s cylindrickým ramenem a profilovaným kolíkem otáčí a pomalu se ponořuje do místa spoje mezi dva svařované díly. Spojované materiály je třeba upnout tak, aby se jejich čela neoddálila. Teplo vzniklé mezi svařovacím nástrojem (který je otěruvzdorný a žárovevný) a svařovanými díly způsobuje, že materiál se v místě spoje dostane do plastického stavu. Nástroj přechází podél linie svaru a materiál v plastickém stavu je přenášen a promícháván profilovaným hrotem.

**Svařování bez přídavného materiálu. Tloušťky 1,6 až 30 mm při plném průniku. Svarový kov bez vad.**





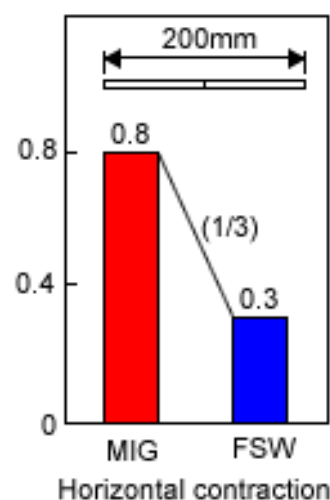
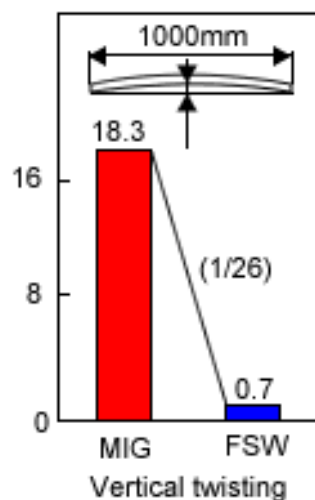
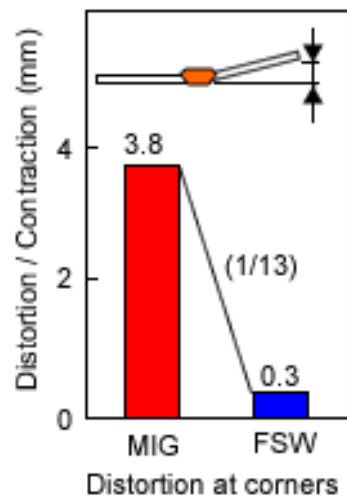
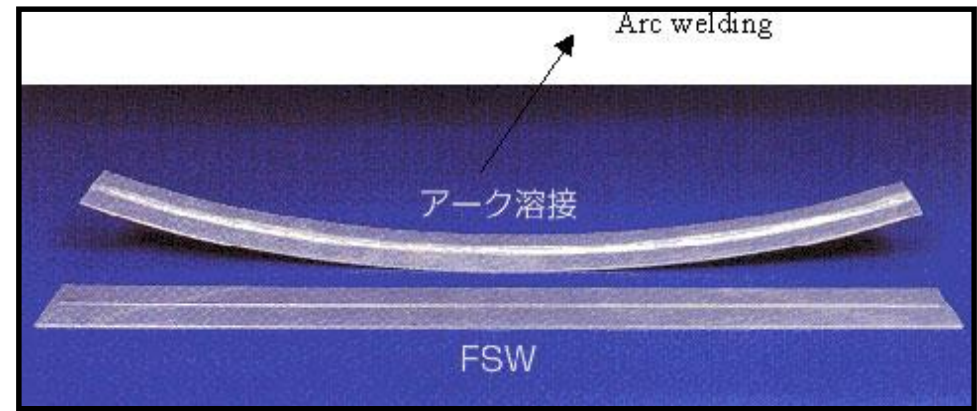
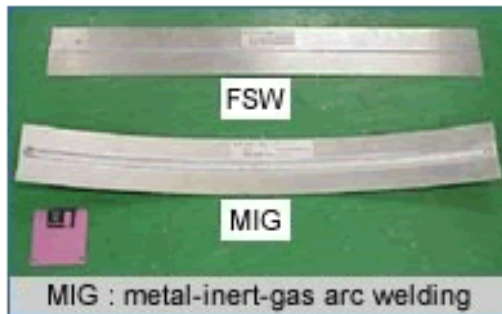
# Princip technologie





# Princip technologie

Ve srovnání s ostatními metodami svařování má spoj provedený metodou FSW vynikající únavové vlastnosti, protože neobsahuje vměstky a nečistoty. Spoje mohou být vytvořeny rychleji, při svařování nedochází k velkým deformacím jednak z nutnosti pevného upnutí svařovaných dílů, ale také z důvodů velmi malého množství vneseného tepla. Lze spojovat díly v tloušťkách od 1,6 do 30 mm na jeden průchod.



Nová technologie tak může nahradit klasické a většinou obtížné svařování součástí z hliníkových slitin v oborech jako je stavba lodí, letecký průmysl, výroba železničních vagónů, automobilový průmysl, chladičství a další.

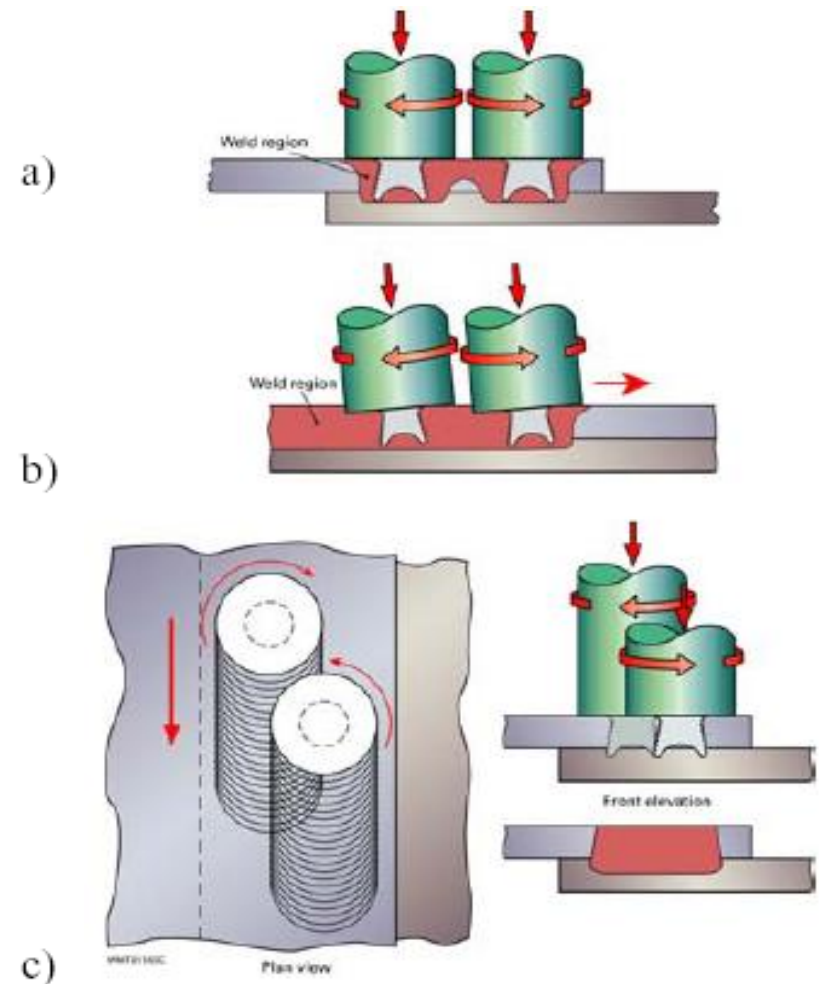
# Twin-stir™ technologie

Při této variantě se používají současně dva nebo i více třecích svařovacích nástrojů. Poprvé bylo publikováno v roce 1991. Opačná rotace nástrojů (jeden pravoběžný a druhý levoběžný nebo naopak) přinášela jisté výhody jako redukce reaktivní kroutové síly a větší symetrii vytvořeného svaru. Jestliže jsou speciální požadavky, navrhuje se multifunkční hlava se svařovacími nástroji, která umožní větší produktivitu a nižší asymetrii svaru.

Pro svařování ocelí se používají dva nástroje za sebou, které jsou v jedné ose. Jeden nástroj je předeřívací a druhý svařovací.

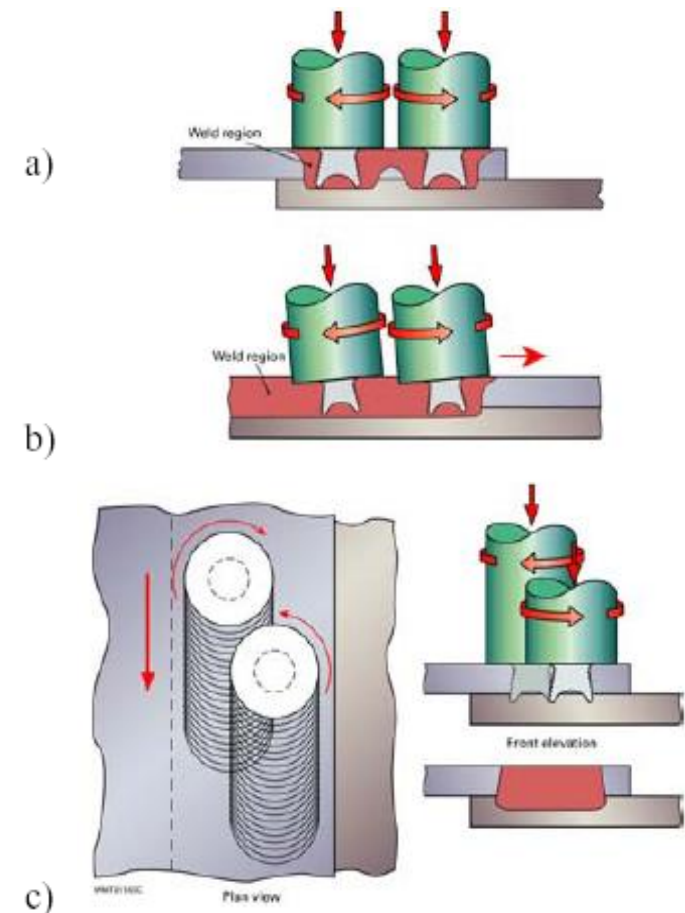
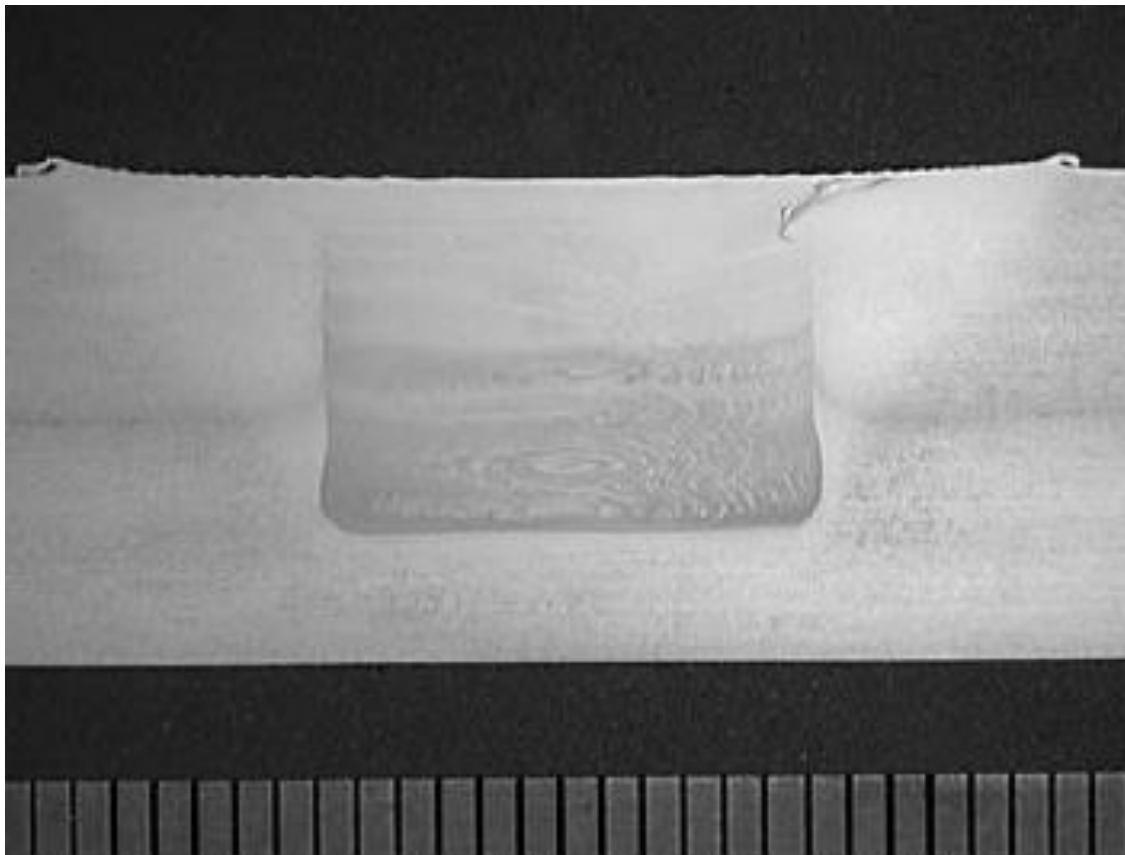
V současnosti se používá vylepšený postup, kdy oba nástroje rotují proti sobě.

Tento objev rozšířil technologii o tři další verze, *jednoduchou tandemovou* (b), *paralelní uspořádání nástrojů* (a) a *šachovnicově uspořádané nástroje* (c).



# Twin-stir™ technologie

Varianta tandemového uspořádání s opačně rotujícími nástroji (b) může být aplikována ve všech konvenčních technologiích FSW. Oproti paralelnímu uspořádání je zde zlepšení celistvosti svaru, omezení tvorby trhlin nebo oxidických vměstků. Svary vznikají při běžné rotaci nástroje, přičemž druhý svar vzniká přes ten předešlý bez mechanických ztrát. Protože v této variantě jdou nástroje těsně za sebou, druhý nástroj nemusí být tak robustní, jako ten první. První nástroj je uvažován jako předešřivací, druhý jako svařovací.





# Výhody a využití FSW

- ❖ Základní materiály se netaví, nevzniká licí struktura, ani trhliny za tepla.
- ❖ Pěchováním materiálu v plastickém stavu dochází k vytvoření jakostních spojů bez vad a s jemnozrnnou strukturou (vyšší mechanické vlastnosti)
- ❖ Ohřev svařovaných materiálů v úzké oblasti, parametry lze upravovat teplotní gradient. Nedochozí k vypalování legur.
- ❖ Při svařování zpravidla dochází ke zjemnění zrna z důvodu intenzivního tváření.
- ❖ Dá se svařovat velké množství materiálů a jejich kombinací, které se nedají svařovat klasickým způsobem.
- ❖ Možnost vytvářet nové typy konstrukčních spojů.
- ❖ Vysoká kvalita spoje s výbornými mechanickými vlastnostmi, jako je pevnost, tažnost, houževnatost, nebo chování spoje při ohybu.
- ❖ Ve srovnání s ostatními metodami svařování má spoj vynikající únavové vlastnosti, protože neobsahuje vměstky a nečistoty, není převýšení svaru (vrub)
- ❖ Spoje mohou být vytvořeny rychleji, při svařování nedochozí k velkým deformacím.
- ❖ Spojování součástí bez přídavného materiálu nebo ochranného plynu.
- ❖ Technologie šetrná vůči zdraví i životnímu prostředí.