

METODA FSW

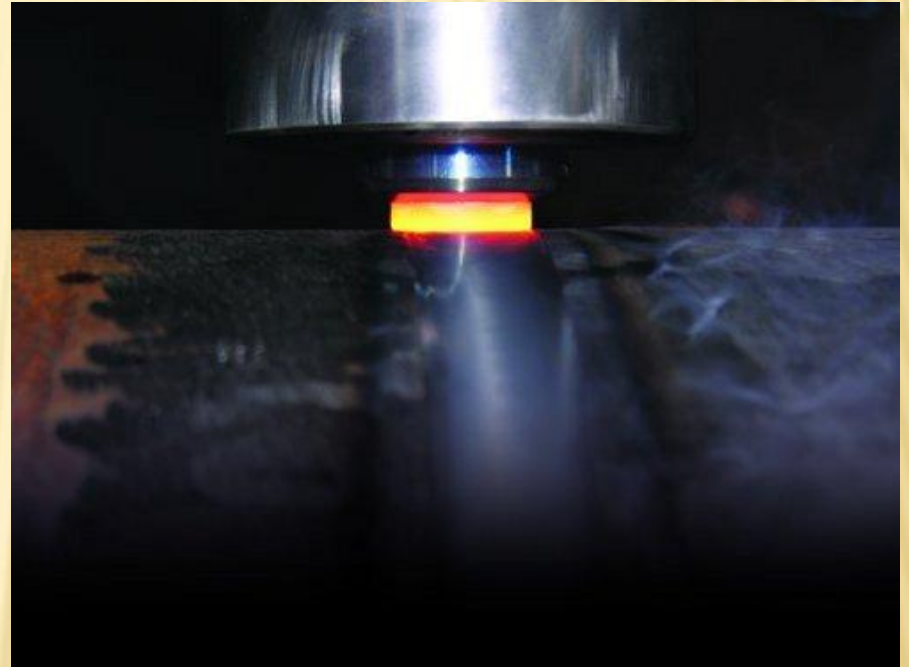
FRICTION STIR WELDING

RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

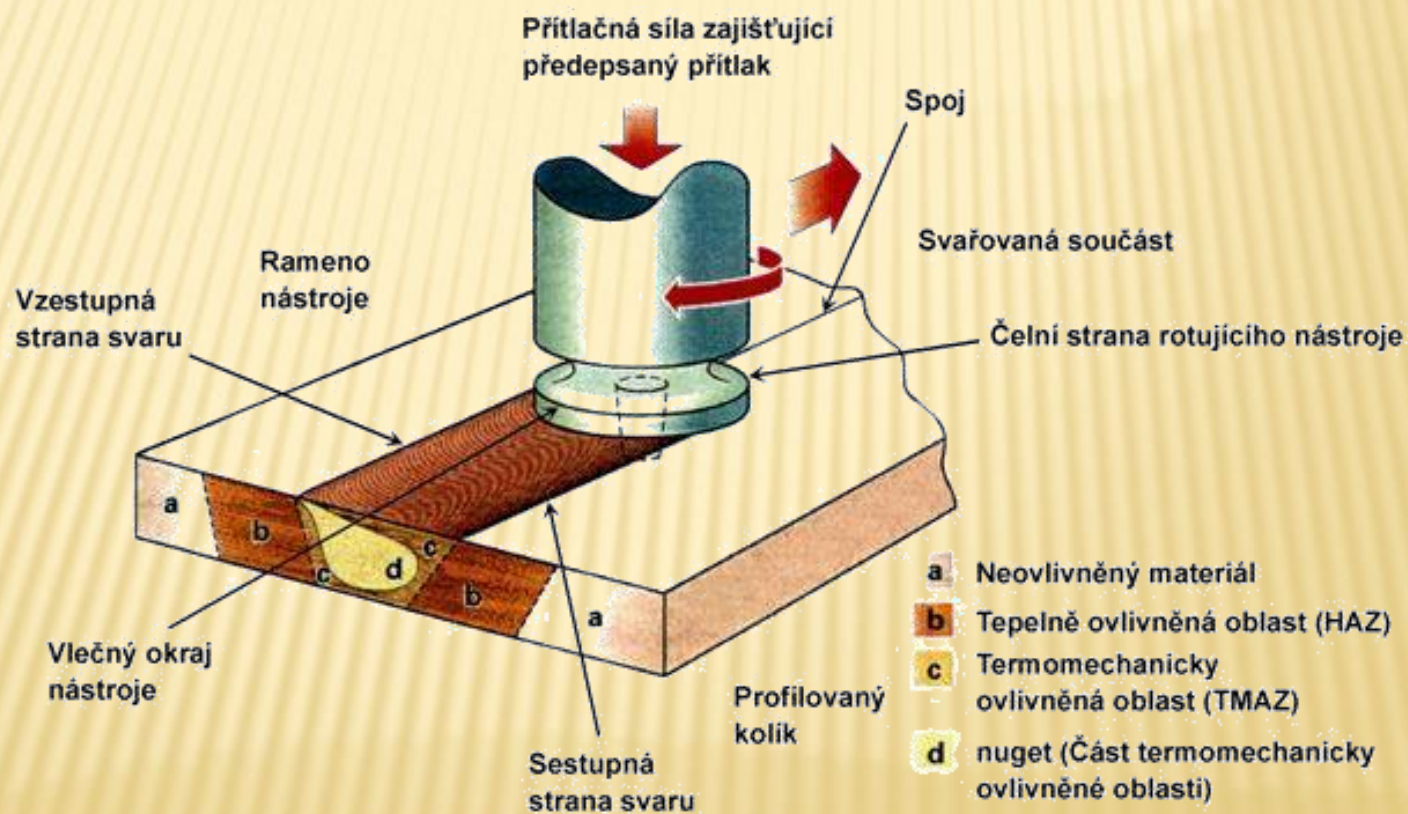
1. Princip metody
2. Mikrostruktura svaru
3. Svařovací fáze
4. Svařovací nástroje
5. Svařitelnost materiálů
6. Svařovací zařízení
7. Varianty metody
8. Příklady

PRINCIP METODY

- Vtlačování rotujícího nástroje do styku dvou svařovaných materiálů
- Rotací nástroje vzniká třecí teplo vedoucí až k plastifikaci materiálu
- Rotací nástroje dochází k promísení obou materiálů



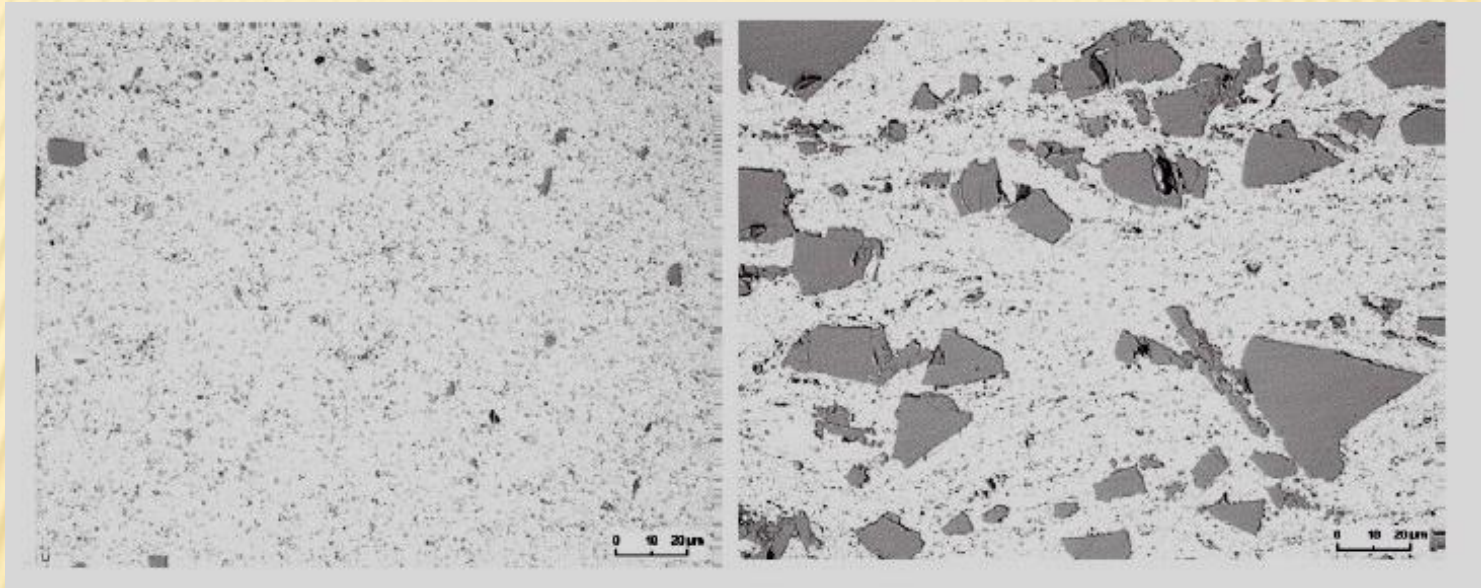
PRINCIP METODY



MIKROSTRUKTURA SVARU

- **dynamicky rekrystalizovaná zóna** (někdy označená jako „nuget“) je oblast silně deformovaného materiálu, který zhruba odpovídá umístění nástroje během svařování. Zrna uvnitř zóny jsou rovnoosá orientovaná jedním směrem a často řádově menší než zrna v základním materiálu. Výrazný rys zóny je výskyt několika koncentrických prstenců, které jsou označovány jako „cibulo-prstencová“ struktura. Původ těchto prstenců není dosud řádně vysvětlen.
- **termomechanicky ovlivněné pásmo** nastane po obou stranách dynamicky deformované zóny. V této oblasti je napětí a teplota nižší a účinek promísení mikrostruktury spojovaných materiálů má menší rozsah. Mikrostruktura zóny je rozeznatelná od základního materiálu, poněvadž byla také významně deformována.
- **tepelně ovlivněné pásmo** je běžné pro všechny svařovací postupy. Tato oblast podléhá tepelnému cyklu, ale není zde deformace během svařování. Výše teploty však může mít významný efekt v případě tepelně nestabilní mikrostruktury.

MIKROSTRUKTURA SVARU

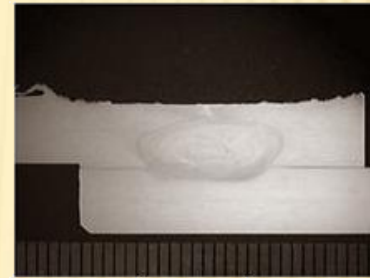
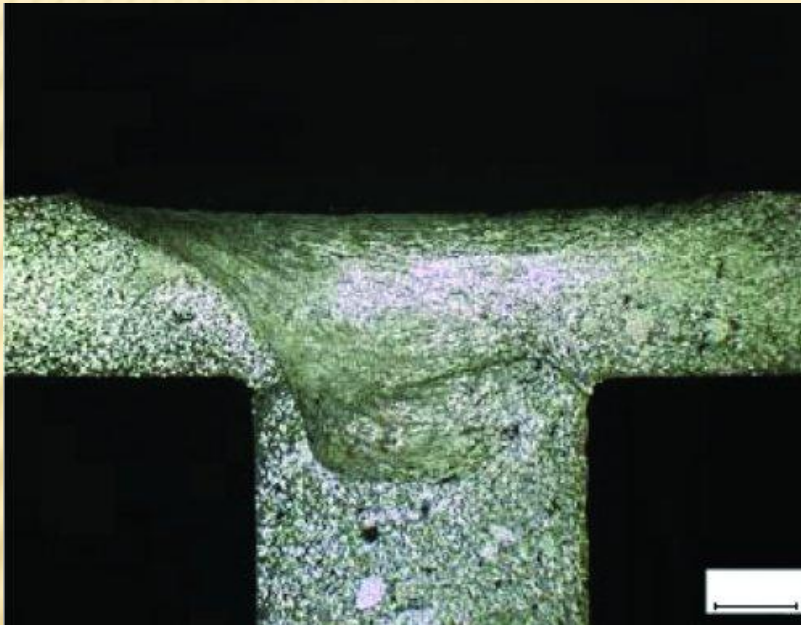


Mikrostruktura v nugetu

Mikrostruktura základního materiálu

Vytvořené spoje jsou velmi dobré kvality bez pórů, bublin, oxidických vměstků a trhlin.

MIKROSTRUKTURA SVARU



a)



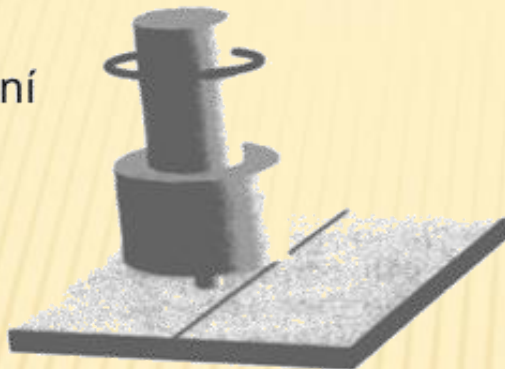
b)



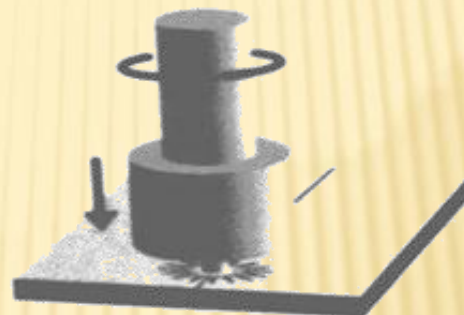
c)

SVAŘOVACÍ FÁZE

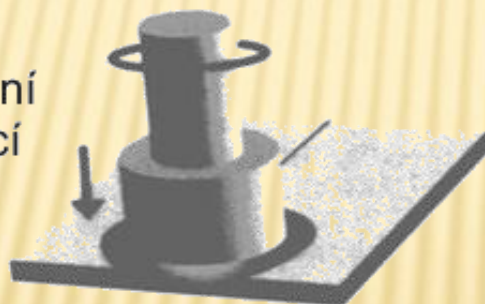
1. Roztočení nástroje



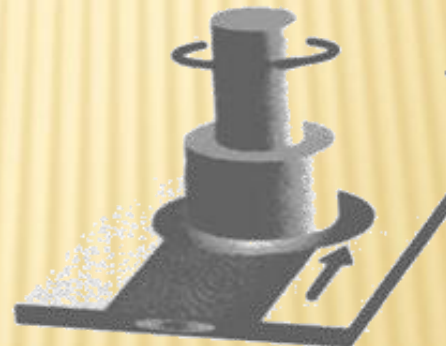
2. Počátek vnoření do spoje



3. Úplné vnoření po horní třecí část



4. Posuv nástroje podél spoje



NÁSTROJE

- Velmi vysoké požadavky jsou kladeny na materiál rotačních nástrojů, které jsou vystaveny vysokému abrazivnímu opotřebením při vysokých teplotách.
- Nástroj je pro kovy s nízkou teplotou tavení (do 600°C) vyroben z oceli AISI H13 (ČSN 19 554, DIN 1.2344), Je to nástrojová ocel pro nástroje pracující za tepla s výbornou odolností proti abrazivnímu opotřebením a vysokou tvrdostí i při vysokých teplotách.,
- Nástroje pro kovy s vyšší teplotou tavení se vyrábějí z kovových kompozitů na bázi legovaných ocelí a vysokotavitelných kovů vyztužených boridy titanu, karbidy chromu, karbidy titanu a jinými tvrdými částicemi. Pro ocel jsou ve vývoji nástroje z wolframové slitiny- chemické složení je zatím utajené.



SWAŘOVANÉ MATERIÁLY

- V současnosti se uvedený princip běžně používá pro svařování hliníkových slitin, slitin z hořčíku, titanu, niklu, mědi, olova a zinku. Materiály s vyšší teplotou tavení a vyšší pevností lze svařovat jen do určité tloušťky. Jednou z největších výhod při svařování FSW u vytvrditelných slitin hliníku je relativně nízká teplota procesu, kdy ještě nedochází k poklesu mechanických vlastností. Vytvrzující precipitáty se sice při vysokém přetvoření rozbijí a zmenší svoji velikost, ale zůstávají v celkovém objemu materiálu konstantní. Naopak u tavného svařování se precipitáty rozpustí a v tepelně ovlivněné oblasti výrazně klesají mechanické vlastnosti. Například u slitiny hliníku typu 5083 jsou úplně stejné hodnoty pevnosti u ZM i svaru FSW. U slitiny 7108–T79 klesla pevnost z 370 MPa na 320 MPa po svaření a po přirozeném stárnutí se zvedla na 350 MPa. Stejně hodnoty pevnosti před a po svařování a umělém stárnutí svarového spoje bylo dosaženo u slitiny 6082–T6. Velká přednost je možnost spojovat různorodé materiály tavnými metodami nesvařitelné.
- Svařování FSW se používá v širokém rozsahu tloušťek od 1,5 mm jednostranného do 30 mm oboustranného svaru bez jakéhokoliv přídavného materiálu a ochranného plynu. Rychlost svařování se pohybuje od 15 do 50 cm/min.

VÝHODY METODY FSW

- základní materiály se netaví, nevzniká licí hrubozrnná struktura s možností dendritického i objemového odmíšení
- vyloučení vzniku intermetalických sloučenin při svařování různorodých materiálů
- vyloučení propalu prvků, pórovitosti a bublinatosti
- svar bez trhlin za tepla, s malým tepelným ovlivněním
- dobré mechanické vlastnosti vlivem zjemnění zrna v materiálu při deformačním tváření
- široký sortiment svařovaných materiálů a jejich kombinací
- zlepšení bezpečnosti z důvodu absence jedovatých výparů nebo rozstříku roztaveného kovu
- žádné přídavné materiály nebo plynová ochrana
- snadná automatizace, nižší náklady na přípravu výroby a méně času na školení obsluhy
- nové typy svarových spojů
- svařování může probíhat ve všech pozicích (horizontální, svislý, atd), není tam žádný svarová lázeň

NEVÝHODY A OMEZENÍ METODY FSW

- nutnost opracování nebo řešení závěrečného otvoru
- nutnost velké upínací síly
- méně flexibilní technologie ve srovnání s obloukovým svařováním
- potíže se střídáním tloušťky a s nelineárními svary
- příčný poměr svaru méně příznivý než u tavného svařování.

ZAŘÍZENÍ PRO FSW

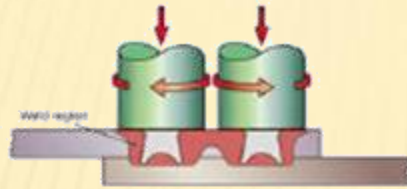


VARIANTY METODY

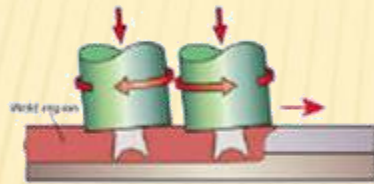
- **Twin-stir™**, při které se současně používají dva nebo více nástrojů, které mají vzájemně obrácenou rotaci. Mohou se pohybovat tandemově za sebou, nebo vedle sebe v tzv. paralelním uspořádání vedle sebe s šachovnicovým přesazením nástrojů. Opačná rotace nástrojů, redukuje reaktivní kroutivé síly a zlepšuje symetrii svarového spoje. V případě tandemu bývá např. pro svařování oceli první nástroj přehřívací a druhý svařovací. U paralelního svařování s přesazením získáme velmi široký závar.
- **Skew-stir™** která má výrazný odklon osy trnu a umožňuje svařovat širší svar vhodný pro rohové a T-svary. Při svařování roste jakost svaru ve spodní rozšíření části.
- **Re-stir™** se vyznačuje střídavou rotací po jedné nebo několika otáčkách nástroje, která umožňuje lepší symetrii svarového spoje. Reverzní svařování zajišťuje konstantní vlastnosti svaru v celém průřezu, je však náročné na eliminaci setrvačných hmot.
- **Dual-rotation FSW** je charakteristická rozdílnou rotací vlastního trnu a horního třecího nástroje. Širokou škálou možných nastavení rotací v závislosti na charakteru materiálu je možné dosáhnout velmi dobré jakosti svarového spoje. Snížením rotace horního třecího nástroje se omezuje přehřátí povrchu materiálu
- **Pro-stir™** umožňuje svařovat několik vrstev plechů do celistvého prostorového dílce.

VARIANT METODY

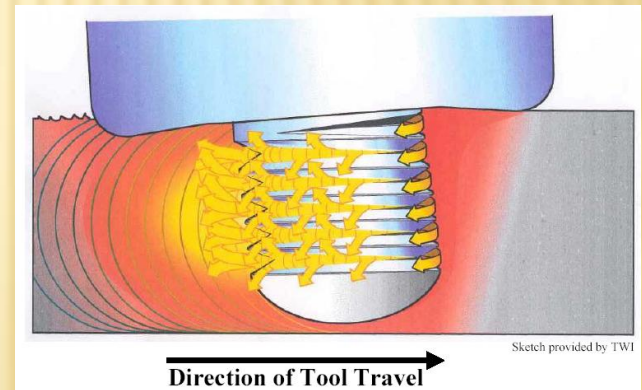
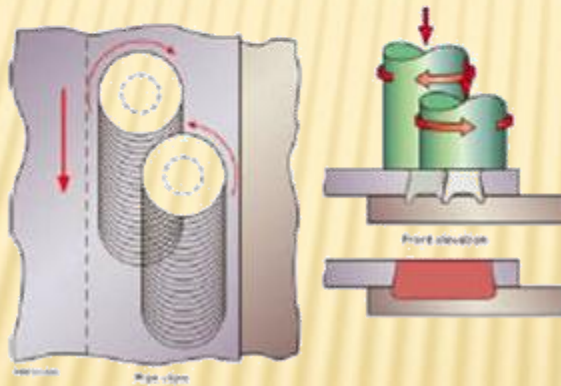
a)



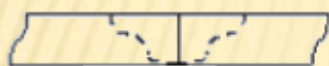
b)



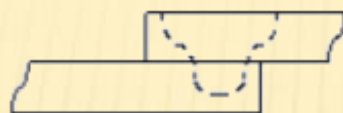
c)



PŘÍKLADY SVARŮ



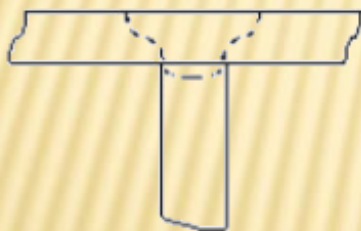
natupo



přeplátováním



natupo
vychýlený



"T" svar



rohový



koutový



dvojitý
natupo

PŘÍKLADY Z PRAXE - DOPRAVA



Ford GT – svar Al profilů středového tunelu



Svařování Al disku

Rychlovlak Javelin (GB) – skříň z Al panelů



PŘÍKLADY Z PRAXE – RAKETOVÁ TECHNIKA



Kosmická loď
Orion



Nádrž pro
ARES 1

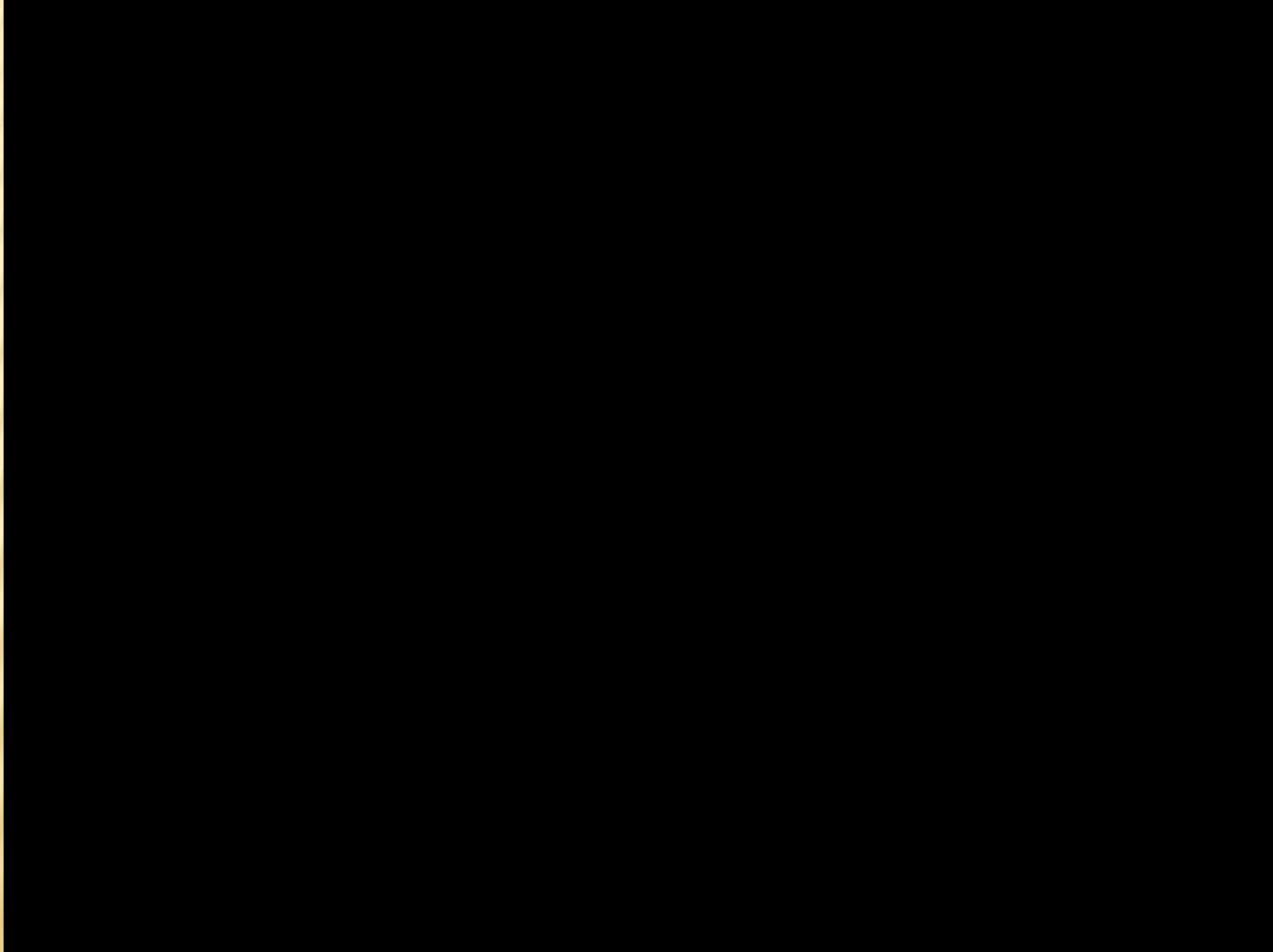


Nádrž pro
Falcon 9



Nádrž pro
Delta 4

PŘÍKLADY SVAŘOVÁNÍ METODOU FSW



SVAŘOVÁNÍ POTRUBÍ

