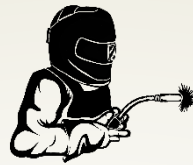




Spolufinancováno  
z programu Evropské unie  
Erasmus+



Erasmus+

# MODUL P

# Odporové svařování

Odporové svařování



## Princip odporového svařování

- Odporové svařování je elektromechanický proces, při němž vzniká svarový spoj působením tlaku za současného průchodu svařovacího proudu, přičemž zdrojem tepla je odporové teplo vzniklé podle Joulova zákona.
- Výhodou odporového svařování je zejména ta jeho vlastnost, že nevyžaduje přídavný kov, ale svarový spoj se vytváří roztavením vlastního materiálu svařovaných dílců.
- Mezi další přednosti patří kromě kvality spoje, rychlosti a hospodárnosti provedení i možnost mechanizace a automatizace.



# Charakteristika odporového svařování

- Technologie odporového svařování patří do svařování tlakového, při kterém se svarový spoj tvoří v místě ohřátém na svařovací teplotu elektrickým odporovým teplem ještě za působení tlaku.
- Při tomto způsobu se část materiálu dostává do stavu natavení a v nejbližším okolí tohoto pásma do plastického stavu (nebo jen do plastického stavu při stykovém tlakovém svařování).
- Podstatou elektrického odporového svařování je soustředění vzniklého elektrického tepla do místa, kde se má svařovat.
- Během vytváření svaru se pracovní odpor i proud mění.
- Celkové teplo vyvinuté mezi elektrodami za čas  $t$  je podle Joulova zákona:
- $Q = U * I * t$



# Celkový elektrický (ohmický) odpor soustavy

- ▶ odpor elektrod
- ▶ přechodové odpory ve styku elektroda – svařovaný materiál
- ▶ vlastní odpor svařovaných materiálů
- ▶ přechodový odpor ve styku povrchů svařovaných materiálů.
  
- ▶ Každý z těchto odporů je funkcí teploty a hodnota přechodových odporů závisí výrazně na kvalitě povrchu svařovaných materiálů a elektrod a na tlaku mezi elektrodami.
- ▶ Navíc je celkový odpor svarového spoje mezi elektrodami časově závislý.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 120.



# Charakteristika technologie odporového svařování a rozsah použití

► Polohy svařování	všechny
► Druh svařovaného materiálu měď, nikl a jejich slitiny	nelegované oceli, legované oceli, hliník,
► Rozsah svařovaných tloušťek	0,4 mm až 10 mm (někde i více)
► Svařovací proud	103 A až 105 A
► Pracovní napětí	0,5 V až 30 V
► Druh svařovacího proudu	střídavý (výjimečně i stejnosměrný)
► Svařovací čas	0,04 s až 2,0 s
► Svařovací tlak	15 MPa až 200 MPa
► Rychlost náběhu teplot	až 100 000 °C/s

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUŠ, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 120.

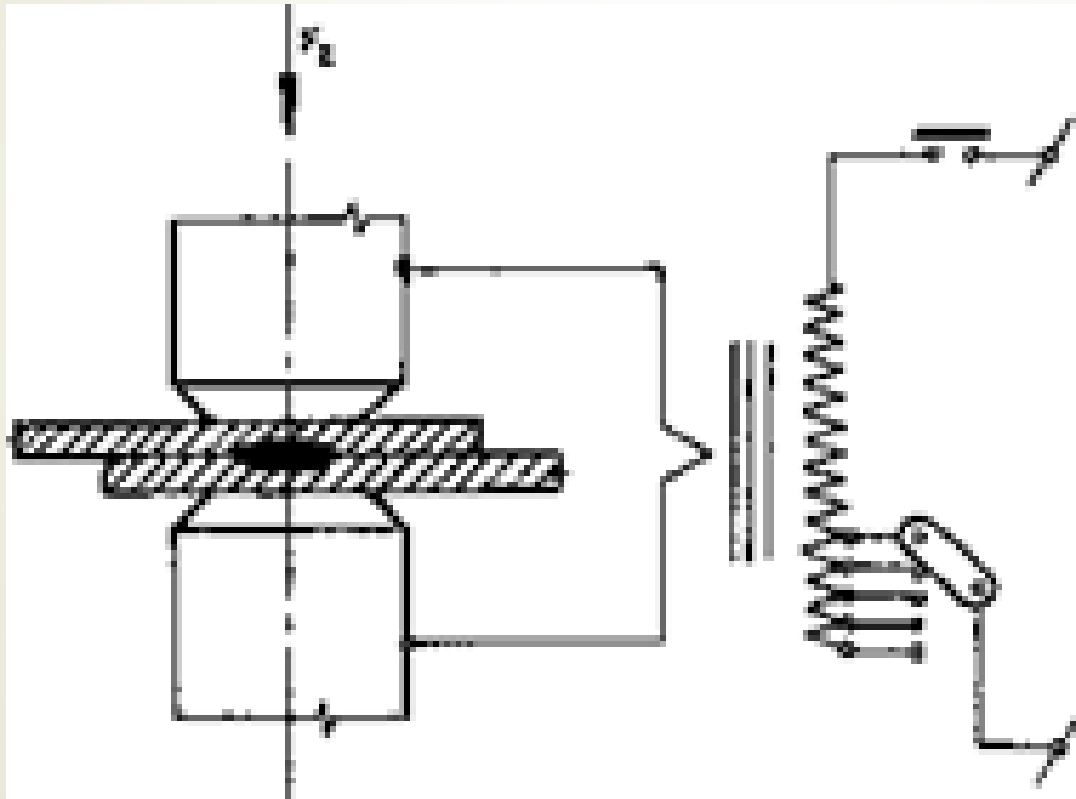


# Rozdělení druhů odporového svařování

- Bodové svařování
- Švové svařování
- Výstupkové svařování
- Stykové tlakové svařování
- Stykové odtavovací svařování



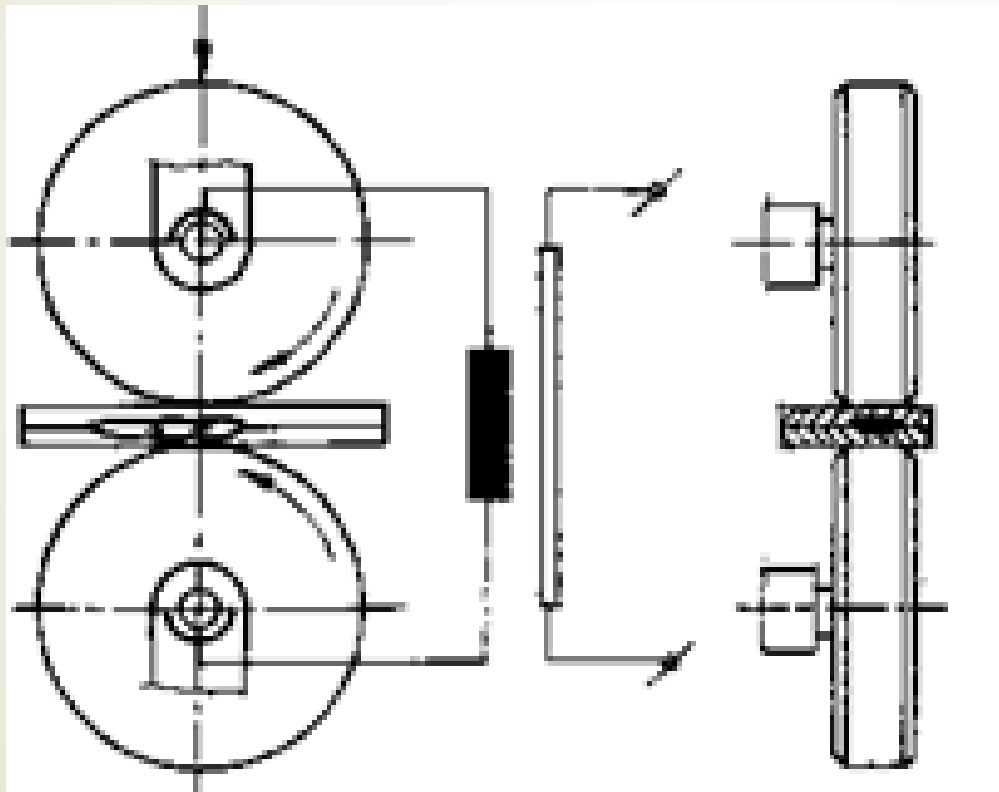
# Bodové svařování



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



# Švové svařování

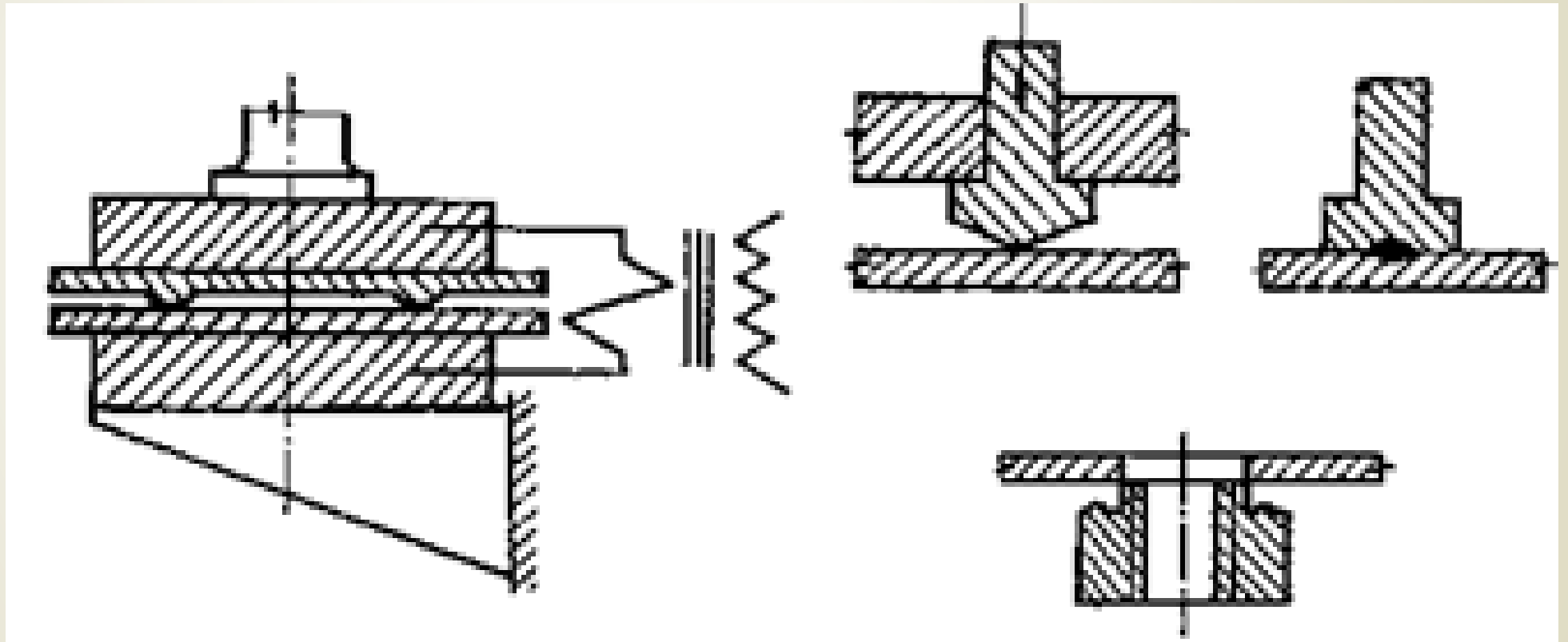


KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.





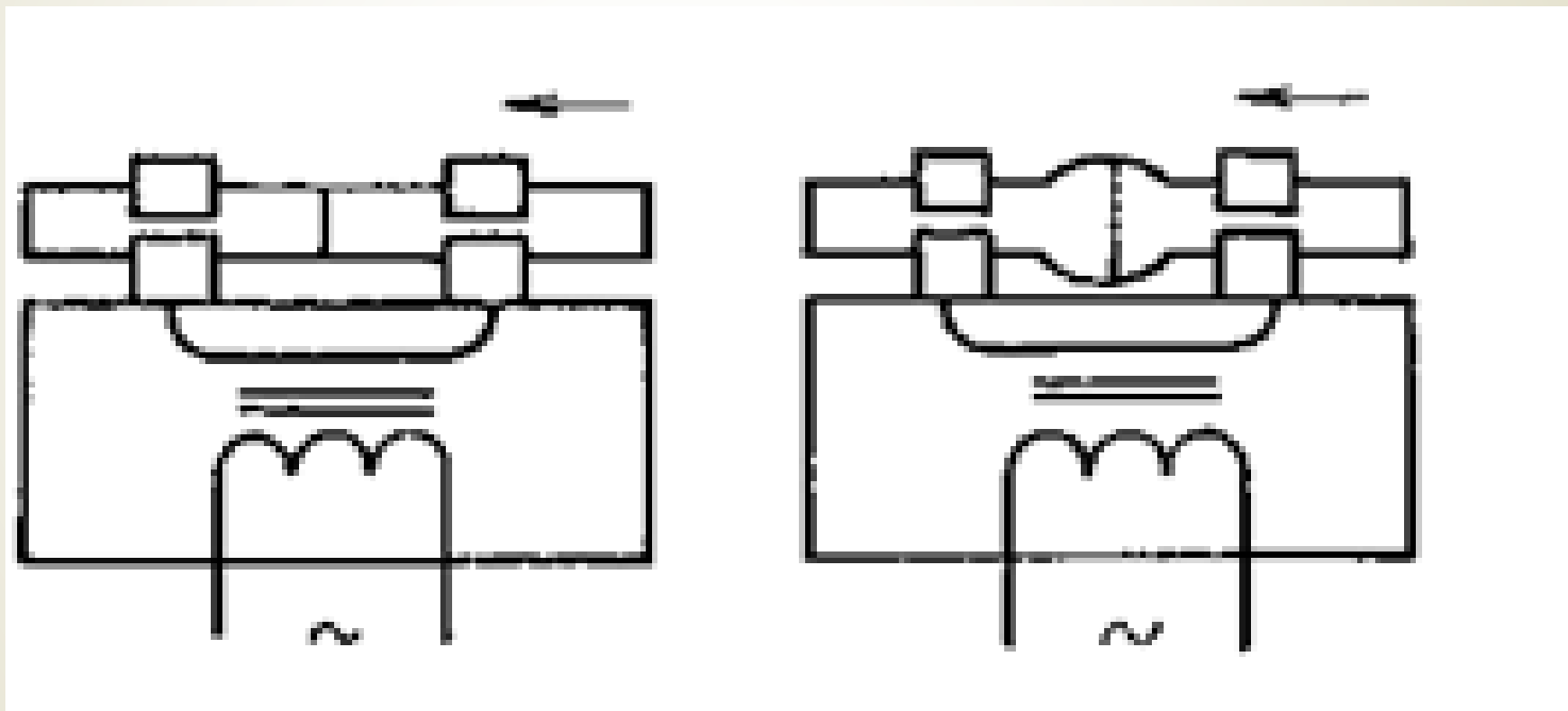
# Výstupkové svařování



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



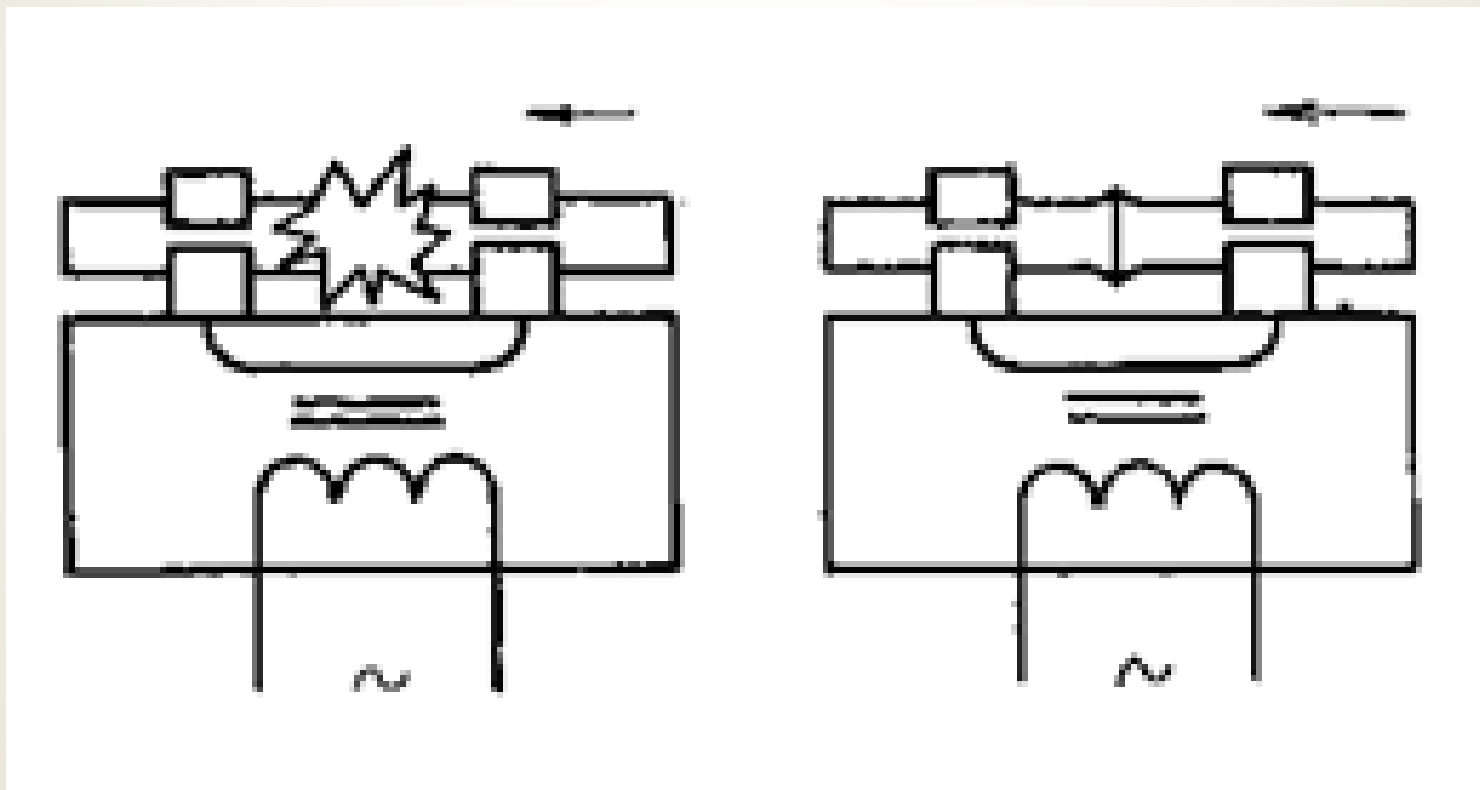
# Stykové svařování tlakové



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



# Stykové odtavovací svařování



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



## Základní parametry odporového svařování

- svařovací proud,
- svařovací čas a tlak, který ovlivňuje přechodový odpor v místě dotyku elektrod a ve styku obou materiálů.



## Režimy odporového svařování

- Měkký svařovací režim
- Tvrdý svařovací režim



## Měkký svařovací režim

- Menší svařovací proud, delší svařovací čas, menší přitlačná síla.
- Vyznačuje se větším tepelným ovlivněním materiálu, svarová čočka má malý průměr, má velkou výšku a hrubozrnnou strukturu, což zhoršuje mechanické vlastnosti svarového spoje.
- Elektrody jsou teplotně velmi namáhané, a proto mají krátkou životnost a také zanechávají ve svařovaném materiálu hluboké otlčky.
- Vyšší je i spotřeba elektrické energie (malá účinnost, vyšší tepelné ztráty).
- Tento režim se úmyslně použije v případě svařování materiálů náchylných na zakalení.



## Tvrdý svařovací režim

- Vyšší svařovací proud, kratší svařovací čas, větší přitlačná síla.
- Tvrdý režim charakterizuje vyšší produktivita práce, menší tepelné ztráty, menší otlacky, větší životnost elektrod a menší deformace.
- Svarové čočky mají větší průměr (asi jako elektroda), jejich výška bývá asi 30 % celkové tloušťky obou plechů, mechanické vlastnosti svarového spoje jsou lepší.
- Svařovací stroje musí však mít větší příkony a silnější konstrukci pro větší přitlačné síly.



## Svařovací cyklus

- ▶ Ovlivňuje dynamiku procesu, tzn. vznik svarové čočky, metalurgické změny a konečné vlastnosti svarového spoje.
- ▶ Nejčastěji je používán svařovací cyklus s konstantní silou a konstantním proudem.





# Tepelná rovnováha

- Vznik dokonalého odporového svaru předpokládá vzhledem ke stykové rovině svařovaných dílců tepanou symetrii ve svarovém spoji.
- Tento předpoklad platí nejen pro fázi ohřevu, ale i pro fázi ochlazování.
- Když bude tepelná rovnováha porušena (rozdílnými vlastnostmi svařovaných materiálů, nestejnými tloušťkami apod.), svařovaný materiál se bude ohřívat nerovnoměrně a nesymetricky.
- Důsledkem bude nestejně natavení svařovaných materiálů a vzhledem k rozhraní materiálů vytvoření asymetrické svarové čočky.



# Bodové svařování



# Princip bodového svařování

- ▶ Bodové svařování je odporové svařování, při kterém se svařované materiály navzájem přeplátují a stlačí mezi měděnými elektrodami.
- ▶ Časový spínač zapne elektrický proud, který projde materiálem, proud má velkou intenzitu, na stykových plochách je prudce zabrzděn, čímž vznikne teplo potřebné k vytvoření svaru.
- ▶ Svar má tvar čočky a vytváří se bez přídavného materiálu.
- ▶ Zdrojem svařovacího proudu je svařovací transformátor.
- ▶ Proud ze sekundárního vinutí transformátoru se přivádí do elektrod pevnými a ohebnými přívody svařovacího stroje.
- ▶ Průchod elektrického proudu se reguluje nejčastěji elektronicky.



# Bodové svařování





# Bodové svařování





# Bodové svařování





# Svařovací parametry pro bodové svařování

- ▶ V technické praxi se při volbě svařovacích parametrů používají tabulky zpracované na základě zkoušek.
- ▶ Kromě velikosti základních parametrů (svařovací proud  $I$ , přitlačná síla  $F$  a svařovací čas  $t$ ) pro jednotlivé jakosti a tloušťky materiálů se uvádějí i další údaje:
  - ▶ doporučený průměr dosedacích ploch elektrod,
  - ▶ minimální velikost přeplátování,
  - ▶ minimální rozteč os sousedních svarových spojů,
  - ▶ minimální vzdálenost os svaru od okraje plechu a další parametry.
- ▶ Hodnoty svařovacího proudu  $I$  a svařovacího času  $t$  mohou být uvedeny v podobě dvou pracovních režimů (měkký svařovací režim a tvrdý svařovací režim).



## Vznik bodového svaru

- Vložení svařovaných součástí mezi elektrody
- Sevření elektrod
- Zapnutí proudu
- Vypnutí proudu
- Oddálení elektrod





# Odpor svařovacího obvodu

- Celkový činný odpor  $R$  je tvořen součtem přechodových odporů a materiálových odporů.
- Uvedené odpory nejsou během trvání svařovacího cyklu konstantní.
- Přechodové odpory se mění v závislosti na velikosti přitlačné síly, na hodnotě teploty a na stavu povrchů kontaktních materiálů.
- Materiálové odpory jsou funkcí měrného odporu materiálu, tloušťky materiálu a pomyslného průřezu toku elektrického proudu materiálem.
- Mění se rovněž s teplotou, která je funkcí času. Průřez toku elektrického proudu je daný průřezem elektrod.
- Průměr elektrod je daný vztahem:
  - $d = 5j \sim s$  [mm];  $s$  – tloušťka materiálu [mm]



# Švové svařování



# Princip švového svařování

- Švové svařování se v principu podobá svařování bodovému.
- Na rozdíl od bodového svařování svarový spoj vzniká mezi dvěma otáčejícími se kotouči – elektrodami (ve zvláštních případech jedním).
- Svarový šev je vytvořený z jednotlivých, jakoby bodových svarů.
- Pokud se svary dostatečně překrývají, spoj je těsný.
- Vzdálenost mezi jednotlivými svary je závislá na obvodové rychlosti otáčení elektrod, přirozené modulaci (50 Hz) svařovacího proudu nebo cíleného přerušování proudu.
- Proud má v každé periodě dvě maxima – kladné a záporné, tehdy se tvoří jádra svarů.
- Když prochází proud nulou, teplo nevzniká.
- Za jednu sekundu se tedy vytvoří 100 svarů.

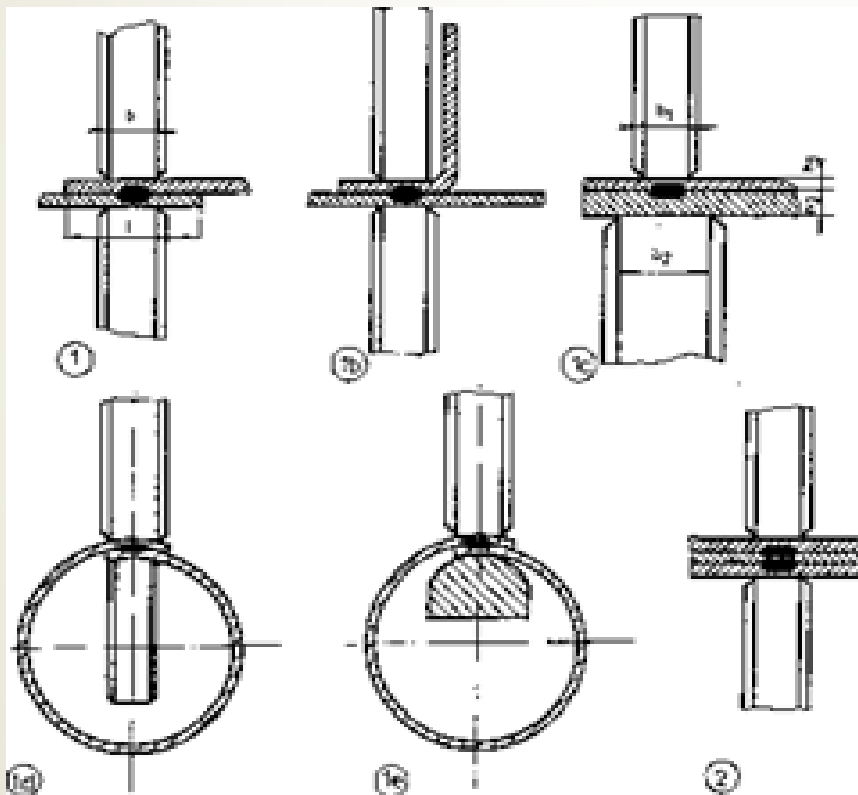


# Svařovací parametry a typy a tvary spojů

- ▶ Při švovém svařování se používají následující parametry svařování:
  - ▶ svařovací síla  $F$  (během svařování konstantní),
  - ▶ svařovací proud  $I$  (během svařování konstantní),
  - ▶ svařovací rychlost  $v$  (obvodová rychlost kotoučů – během svařování konstantní),
  - ▶ modulace svařovacího proudu (přerušování proudu, pokud bude potřebné)



# Typy švových svarů



- 1a – základní typ;
- 1b – svar zhotovený jednostranně zkoseným kotoučem;
- 1c – svar s nestejnými tloušťkami;
- 1d – plášťový spoj nádoby;
- 1e – plášťový spoj nádoby zhotovený na tmě;
- 2 – svar s třemi tloušťkami plechů

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011, s. 127.



# Výstupkové svařování



# Princip výstupkového svařování

- Výstupkové svařování je takový způsob odporového svařování, při kterém se svarové spoje vytvářejí na předem připravených výstupcích.
- Výstupky jsou zhotoveny většinou jen na jednom ze svařovaných dílců.
- Výstupkovým svařováním je možné vytvořit několik bodových svarů naráz.
- Úlohou výstupků je koncentrovat proud a sílu do místa budoucího svaru.
- Na svařování se používá svařovací lis, přičemž svary se zhotovují buď mezi plochými elektrodami, nebo v přípravcích respektive v čelistech.
- Řešení tepelné rovnováhy je jako u bodového svařování.



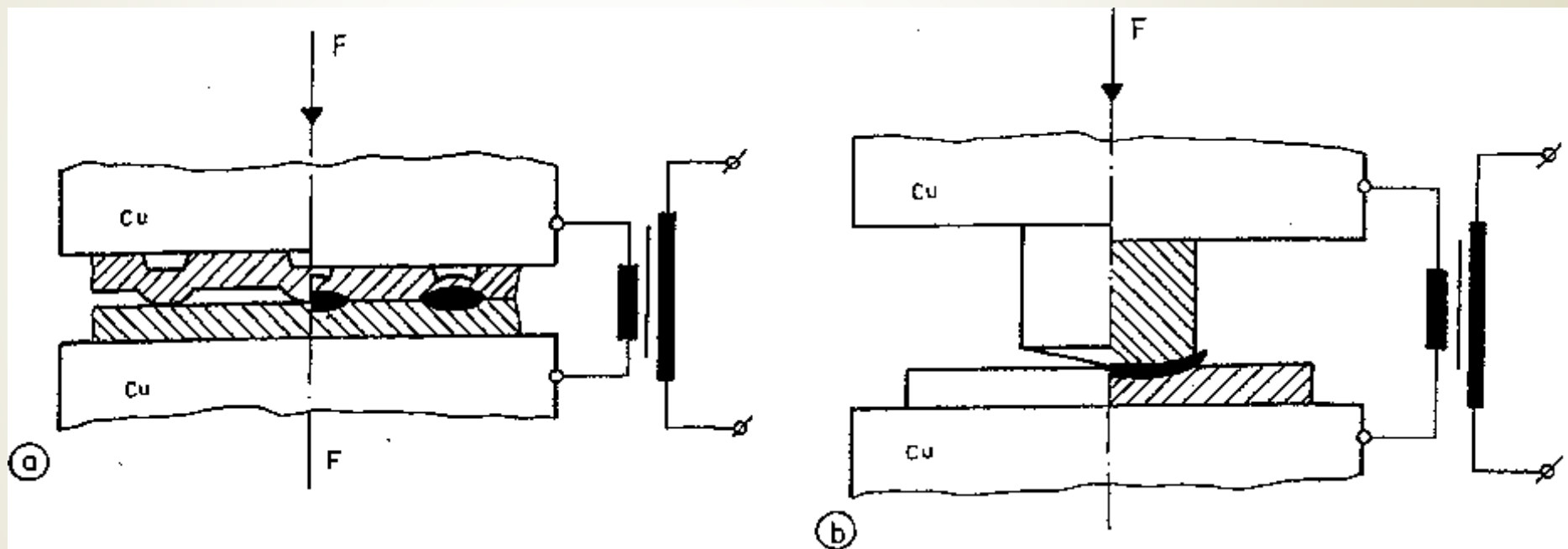
## Způsoby výstupkového svařování

- ▶ výstupkové svařování pomocí prolisovaných výstupků (při svařování plechů),
- ▶ výstupkové svařování pomocí masivních výstupků (nebo s použitím mezivložek).





# Výstupkové svařování



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 127.

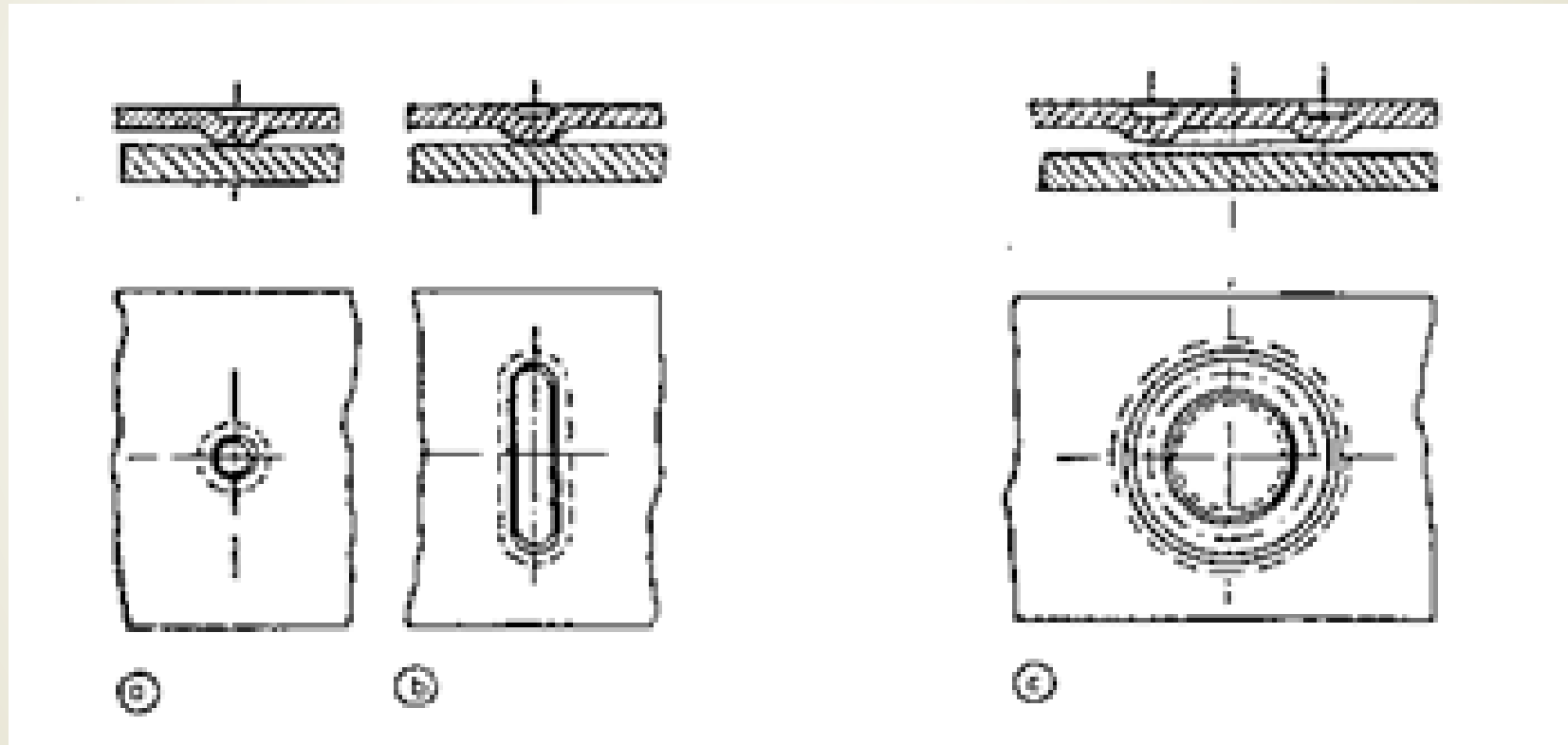


## Svařovací parametry

- ▶ U výstupkového svařování jsou ty samé svařovací parametry jako u bodového svařování: přitlačná síla  $F$ , svařovací proud  $I$  a svařovací čas  $t$ .
- ▶ Můžeme také použít měkký nebo tvrdý svařovací režim.
- ▶ Průběh programových parametrů (svařovací cyklus) má podobný charakter jako při bodovém svařování.



# Typy spojů zhotovených výstupkovým svařováním



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 128.



# Stykové tlakové svařování



## Princip stykového tlakového svařování

- ▶ Stykové tlakové svařování je způsob odporového svařování, při kterém se svařované dílce (nejčastěji dráty nebo tyče) přitlačují k sobě čely.
- ▶ Při průchodu elektrického proudu se přednostně ohřívá oblast styku obou čelních ploch, protože v tomto místě je největší elektrický odpor.
- ▶ Vzhledem k časté velké délce jsou svařované dílce orientované horizontálně.
- ▶ Proud se přivádí do dílců prostřednictvím čelistí, které mají nejen funkci elektrod, ale i mechanicky upínají dílce a musí zabránit jejich proklouznutí při vyvození svařovací (přitlačovací) síly.
- ▶ Při stlačení svařovaných materiálů a průchodu svařovacího proudu se dosahuje teploty blízké bodu tavení.
- ▶ Vysoce ohřátý plastický materiál se ze svaru částečně vytlačuje a vytváří výronek.
- ▶ Z toho vyplývá, že dílce se při svařování zkrátí.
- ▶ Po vypnutí svařovacího proudu, ochlazení a ztuhnutí materiálu se vytvoří difuzní svarový spoj.
- ▶ Teprve pak může být zrušena svařovací síla.



# Svařovací parametry při stykovém svařování

- Svařovací parametry jsou stejné jako u bodového a výstupkového svařování:
  - přítláčná síla  $F$ ,
  - svařovací proud  $I$
  - svařovací čas  $t$ .
- Můžeme také použít měkký nebo tvrdý svařovací režim.
- Při svařování dvou materiálů různé jakosti je důležitá rovnováha materiálových odporů  $R_m$ .
- Zvětšení odporu vodivějšího materiálu se provede větším vysunutím materiálu z čelistí ve srovnání s materiálem horší vodivosti.
- Tím se zajistí stav tepelné rovnováhy.



# Stykové odtavovací svařování



## Princip stykového odtavovacího svařování

- Stykové odtavovací svařování má podobný princip jako stykové tlakové svařování.
- Svařované dílce se ještě před stlačením připojí na svařovací transformátor, který je pod napětím.
- Použité napětí je nízké (3 V až 5 V), aby nevznikl elektrický oblouk.
- Dílce se potom začnou k sobě přibližovat velmi malou rychlostí (řádově 1 mm.s<sup>-1</sup>) na dotyk v jednom nebo více místech.
- Dotykem vzniknou proudové můstky.
- Protože stlačovací síla je minimální (blíží se k nule), přechodový odpor mezi dílci bude mimořádně velký a protékající proud bude malý.
- Materiál se v místě dotyku prudce nataví a část roztaveného kovu vystříkne.





## Princip stykového odtavovacího svařování

- Vystřikující kapalný kov a expandující kovové páry současně vytlačují ze svaru vzduch a chrání ohřáté svarové plochy před oxidací.
- V místě bývalého můstku vznikne kráter vyplněný taveninou kovu a rozrušením proudového můstku vznikne mezi dílci mezera.
- Dílce se ale stále přibližují, takže vzápětí vznikají nové dotyky, nové proudové můstky a celý děj se opakuje tak dlouho, dokud roztavený kov na dně kráterů nepokryje celou plochu na čelech svařovaných dílů souvislou vrstvou taveniny kovu.
- Potom následuje druhá fáze – stlačení.
- Dílce se navzájem pod zvýšenou silou energicky stlačí a proud se vzápětí vypne.
- Roztavený kov obou čelních ploch za spolupůsobení síly vytvoří svar.
- Současně se část vysoko ohřátého materiálu vytlačí ze svaru a vytvoří výronek.



## Svařovací parametry stykového odtavujícího svařování

- ▶ U stykového odtavovacího svařování se používají následující svařovací parametry:
  - ▶ svařovací proud  $I$  (při odtavování klesá až pod  $25 \text{ A.mm}^{-2}$ ),
  - ▶ stlačovací síla  $F$  (ve fázi odtavování je minimální, vzroste až ve fázi stlačování),
  - ▶ odtavovací rychlost  $v$  (v rozmezí  $0,25 \text{ mm.s}^{-1}$  pro velké až  $6 \text{ mm.s}^{-1}$  pro malé průřezy),
  - ▶ délka odtavení  $l_0$  (v rozmezí  $0,2$  až  $0,5$  průměru  $D$  nebo  $2$  až  $5$  x rozvinutá tloušťka).

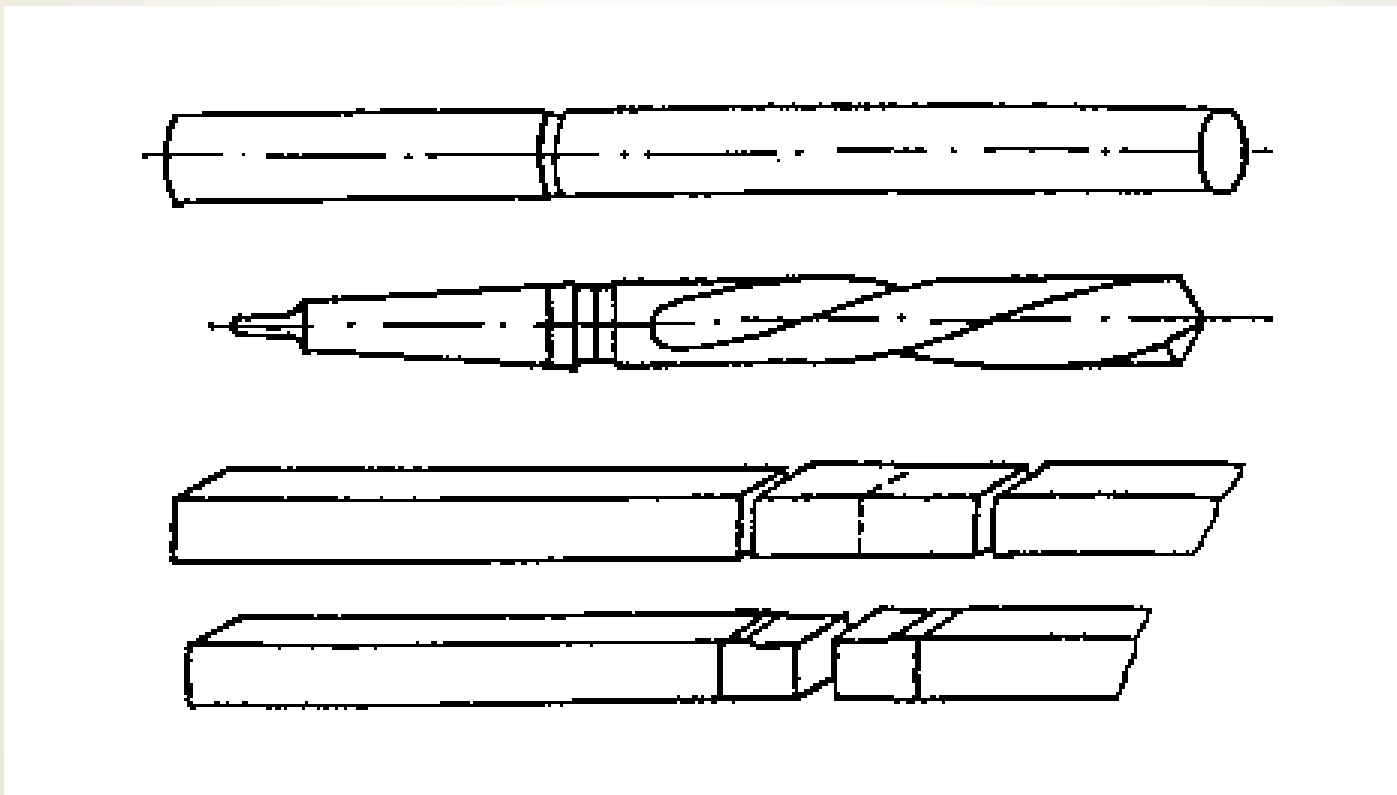


## Svařovací parametry stykového odtavujícího svařování

- ▶ V některých případech se používá stykové odtavovací svařování s předehřevem.
- ▶ Předehřev se uskutečňuje přerušovanými zkraty.
- ▶ Dílce se opakovaně k sobě přitlačují a vzdalují (tzv. reverzační předehřev).
- ▶ Při každém dotyku se ohřejí, ale i částečně odtaví.
- ▶ Předehřev napomáhá průběhu odtavovací fáze (snižuje příkon) a předchází případnému zakalení.



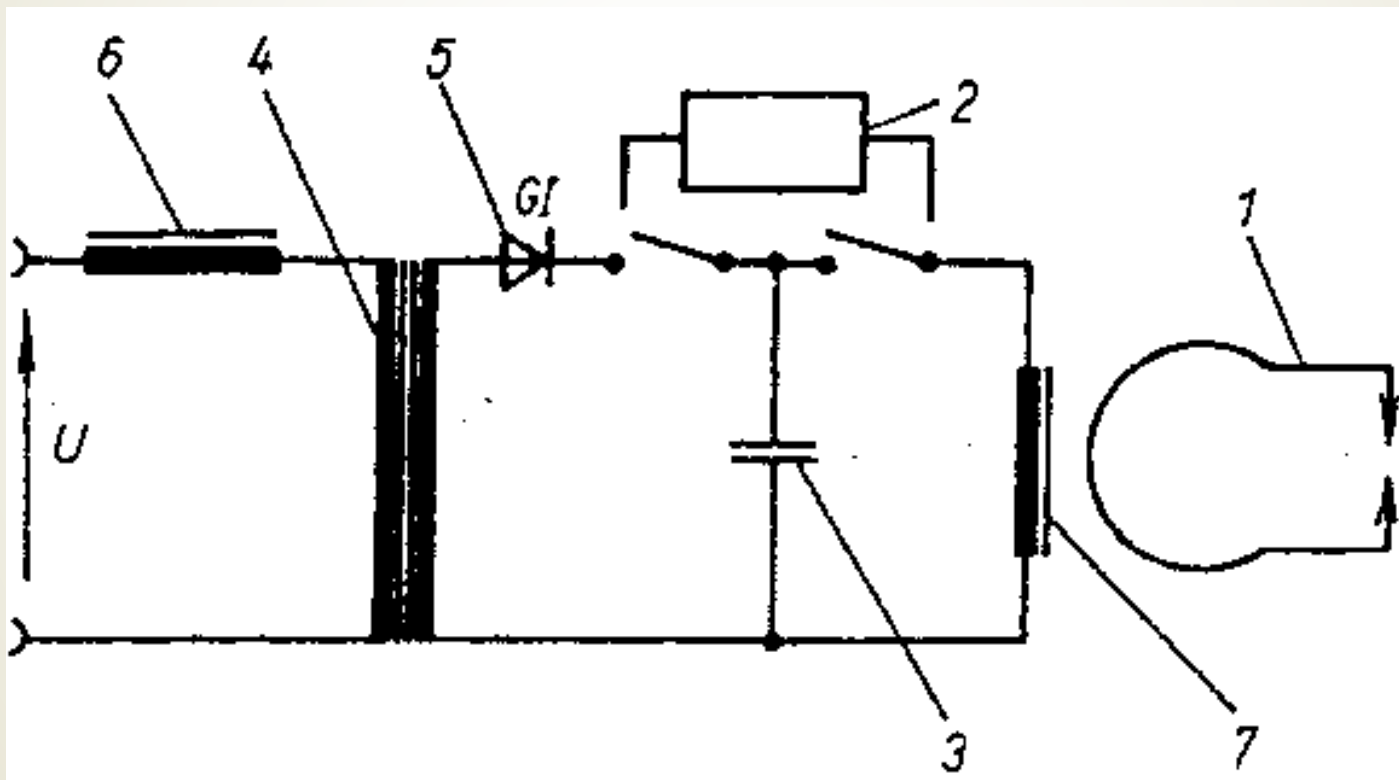
# Typy a tvary spojů



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 131.



# Odporové kondenzátorové svařování



- Schéma zapojení kondenzátorové svářečky
- 1 – svařovací obvod;
  - 2 – řízení cyklu;
  - 3 – kondenzátorová baterie;
  - 4 – vysokonapěťový transformátor;
  - 5 – usměřovač;
  - 6 – tlumivka;
  - 7 – impulsní transformátor

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 131.



# Odporové kondenzátorové svařování

- ▶ Při této technologii se kondenzátorová baterie ultrapulzní svářečky nabije stabilizovaným napětím, čímž se získá energie s konstantní velikostí.
- ▶ Výkon přiváděný do svaru je velký, jedná se o svařování proudovým rázem s velikostí proudů 10 kA až 250 kA, po velmi krátkou dobu 1 m/s až 10 m/s, s přesným řízením vznikajícího tepla, ve spojení s přesně řízenou přitlačnou silou.
- ▶ Tento průběh svařovacího procesu, s velkou koncentrací energie, krátkým svařovacím časem působí na vytvoření velmi úzkého tepelně ovlivněného pásma a také minimálních deformací a vede ke spojení součástí při minimálním natavení, což je příčinou toho, že nedochází k promíšení materiálů a metalurgickým změnám.



# Odporové kondenzátorové svařování

- Použití tohoto způsobu je vhodné ke spojování drobných, lisováním vyrobených dílů v oblasti jemné mechaniky, v sériové a hromadné výrobě.
- Po stránce materiálové lze tohoto způsobu použít pro spojování všech neželezných kovů a jejich vzájemné kombinace a také v kombinaci s ocelí.
- Svařování se provádí buď na principu bodového svařování, nebo výstupkového svařování na lisu.



## Otázky k zamyšlení

1. Jaké jsou výhody odporového svařování?
2. Jaký je princip odporového svařování?
3. Jaké jsou hlavní způsoby odporového svařování?
4. Co je to měkký a tvrdý režim při odporovém svařování?
5. Jaké jsou svařovací parametry při odporovém svařování?
6. Popište způsob práce při bodovém svařování.
7. Kde se používá švové svařování?
8. Jaký je princip práce u stykového svařování s odtavením?
9. Kde se využívá tlakové stykové svařování odporem?





## Doporučená literatura a informační zdroje

- ▶ AMBROŽ, O. A KOL. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- ▶ BERNASOVÁ, E. A KOL. *Svařování*. Praha: SNTL, 1987. ISBN 04-221-88.
- ▶ KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů*. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011, 242 s.