



Spolufinancované z
programu Európskej únie
Erasmus+



Erasmus+

MODUL P

odporové zváranie

Odporové zváranie



Princíp odporového zvárania

- Odporové zváranie je elektromechanický proces, pri ktorom vzniká zvarový spoj pôsobením tlaku za súčasného priechodu zvaracieho prúdu, pričom zdrojom tepla je odporové teplo vzniknuté podľa Joulovho zákona.
- Výhodou odporového zvárania je najmä tá jeho vlastnosť, že nevyžaduje prídavný kov, ale zvarový spoj sa vytvára roztavením vlastného materiálu zváraných dielcov.
- Medzi ďalšie prednosti patrí okrem kvality spoja, rýchlosti a hospodárnosti prevedenia i možnosť mechanizácie a automatizácie.



Charakteristika odporového zvárania

- Technológia odporového zvárania patrí do zvárania tlakového, pri ktorom sa zvarový spoj tvorí v mieste ohriatom na zváraciu teplotu elektrickým odporovým teplom ešte za pôsobenia tlaku.
- Pri tomto spôsobe sa časť materiálu dostáva do stavu natavenia a v najbližšom okolí tohto pásma do plastického stavu (alebo len do plastického stavu pri stykovom tlakovom zváraní).
- Podstatou elektrického odporového zvárania je sústredenie vzniknutého elektrického tepla do miesta, kde sa má zvärať.
- Počas vytvárania zvaru sa pracovný odpor aj prúd mení.
- Celkové teplo vyvinuté medzi elektródami za čas t je podľa Joulova zákona:
- $Q = U * I * t$



Celkový elektrický (ohmický) odpor sústavy

- ▶ odpor elektród
- ▶ prechodové odpory v styku elektróda - zvarovaný materiál
- ▶ vlastný odpor zváraných materiálov
- ▶ prechodový odpor v styku povrchov zváraných materiálov.

- ▶ Každý z týchto odporov je funkciou teploty a hodnota prechodových odporov závisí výrazne na kvalite povrchu zváraných materiálov a elektród a na tlaku medzi elektródami.
- ▶ Navyše je celkový odpor zvarového spoja medzi elektródami časovo 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 technológie odporového zvarovania a rozsah použitia

► Polohy zvarovania	všetky
► Druh zvarovaného materiálu meď, nikel a ich zliatiny	nelegovaná ocel', legovaná ocel', hliník,
► Rozsah zvarovaných hrúbok	0,4 mm až 10 mm (niekde i viac)
► Zvarovací prúd	103 A až 105 A
► Pracovné napätie	0,5 V až 30 V
► Druh zvaracieho prúdu	striedavý (výnimočne i jednosmerný)
► Zvarovací čas	0,04 s až 2,0 s
► Zvarovací tlak	15 MPa až 200 MPa
► Rýchlosť nábehu teplôt	až 100 000 ° C/s

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.

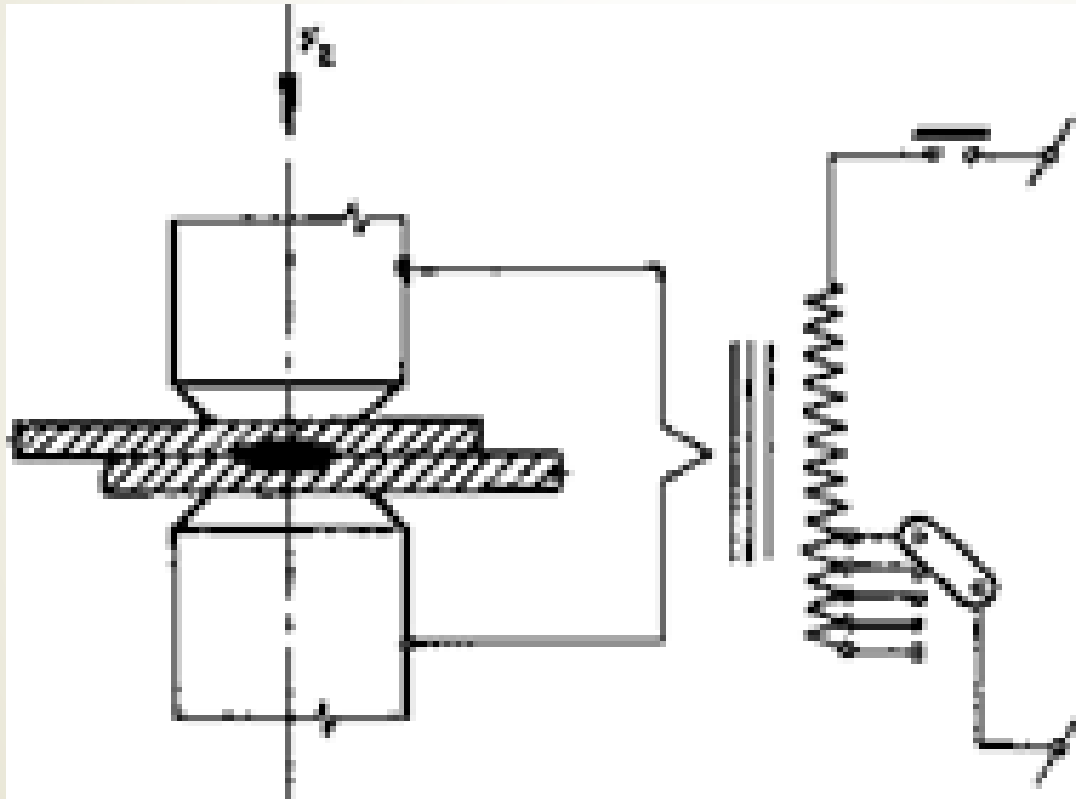


Rozdelenie druhov odporového zvárania

- Bodové zváranie
- Švové zváranie
- Výstupkové zváranie
- Stykové tlakové zváranie
- Stykové odtavovacie zváranie



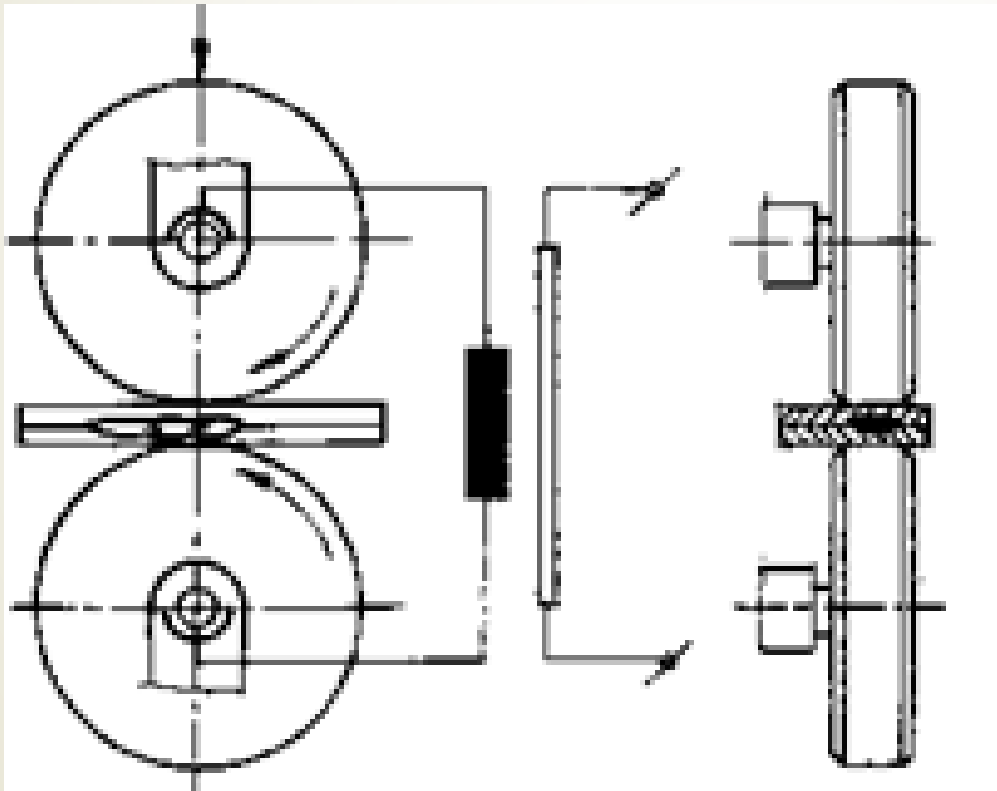
Bodové zváranie



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.



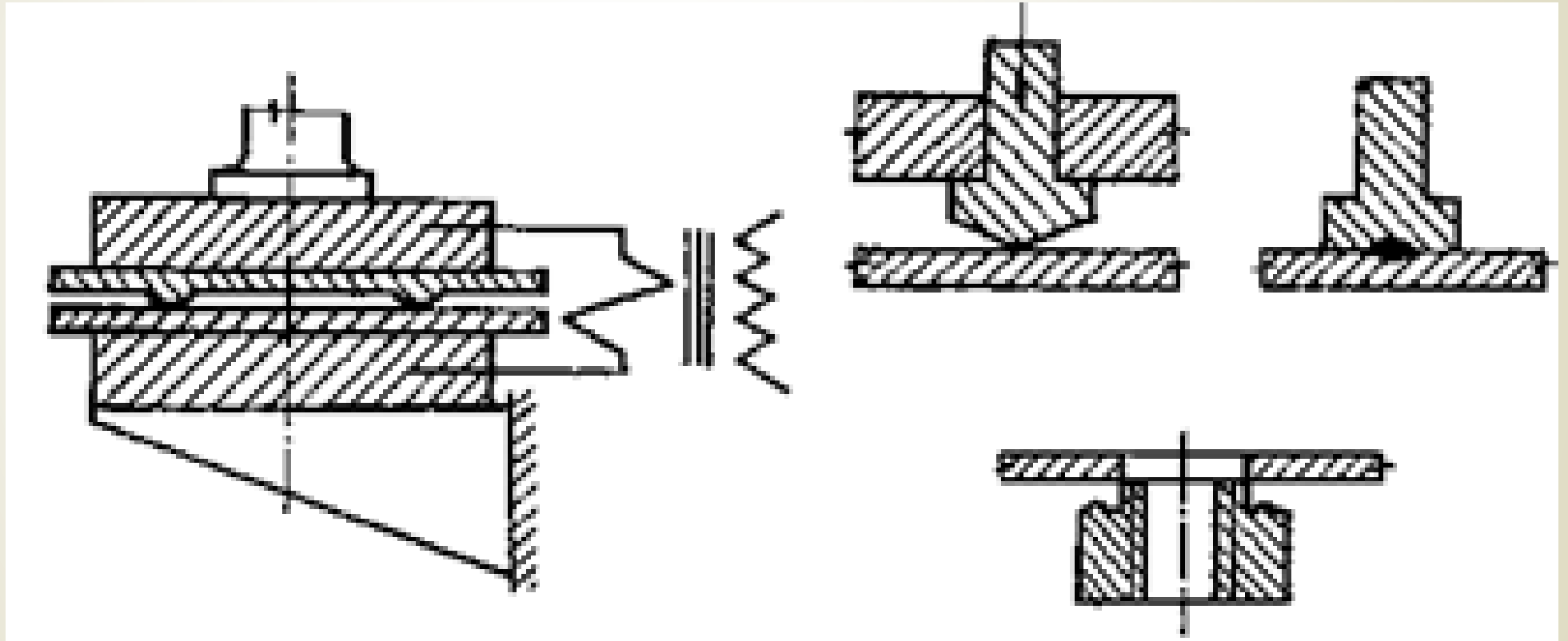
Švové zváranie



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.



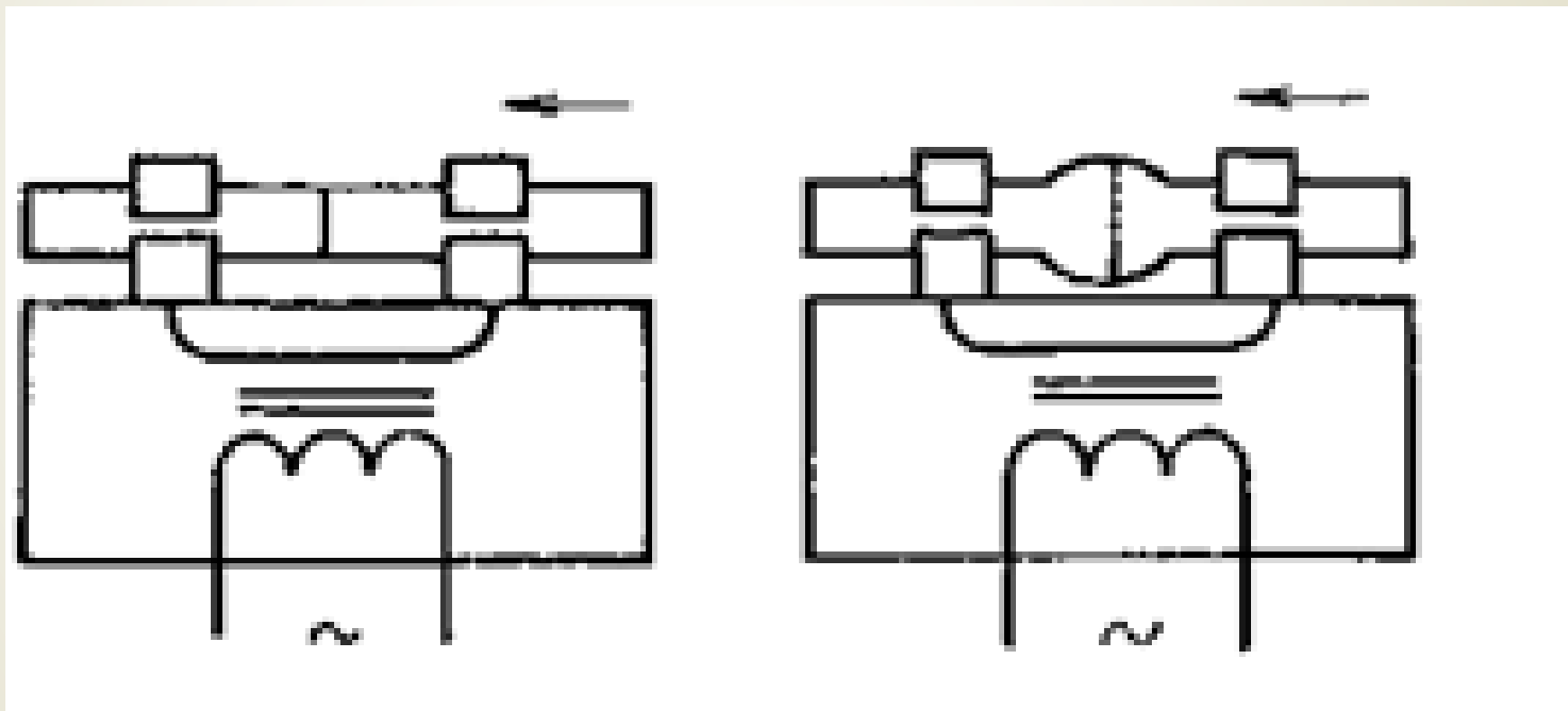
Výstupkové zváranie



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.



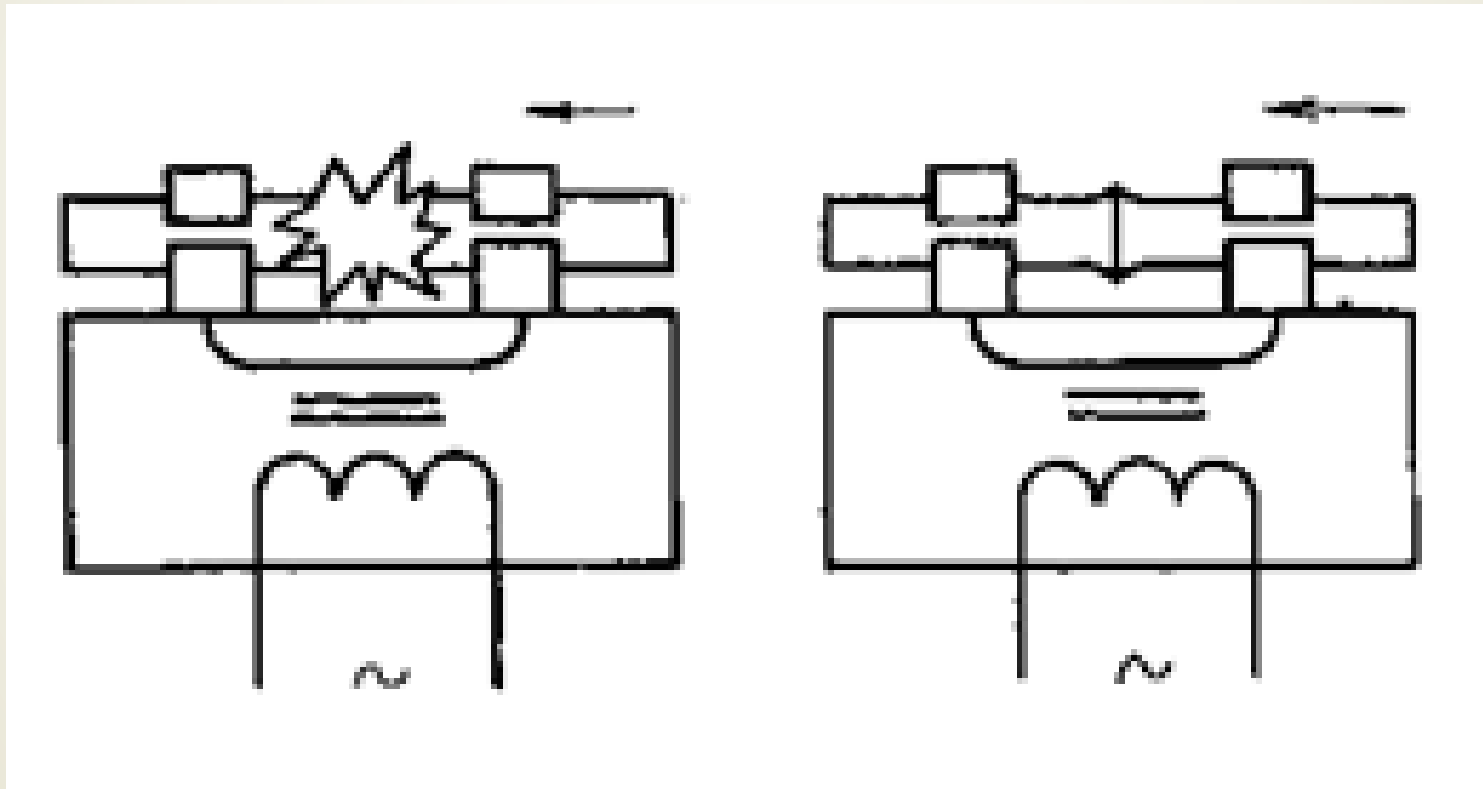
Stykové zváranie tlakové



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 odtavovacie zváranie





Základné parametre odporového zvarovania

- zvarovací prúd,
- zvarovací čas a tlak, ktorý ovplyvňuje prechodový odpor v mieste dotyku elektród a v styku oboch materiálov.



Režimy odporového zvarovania

- Mäkký zvarací režim
- Tvrdý zvarací režim



Mäkký zvärací režim

- Menší zvärací prúd, dlhší zvärací čas, menšia prítlačná sila.
- Vyznačuje sa väčším tepelným ovplyvnením materiálu, zvarová šošovka má malý priemer, má veľkú výšku a hrubozrnnú štruktúru, čo zhoršuje mechanické vlastnosti zvarového spoja.
- Elektródy sú teplotne veľmi namáhané, a preto majú krátku životnosť a tiež zanechávajú vo zväranom materiáli hlboké otlčky.
- Vyššia je aj spotreba elektrickej energie (malá účinnosť, vyššie tepelné straty).
- Tento režim sa úmyselne uplatňuje v prípade zvärania materiálov náchylných na zakalenie.



Tvrdý zvarovací režim

- Vyšší zvarovací prúd, kratší zvarovací čas, väčšia prítlačná sila.
- Tvrdý režim charakterizuje vyššia produktivita práce, menšie tepelné straty, menšie otlacky, väčšiu životnosť elektród a menšie deformácie.
- Zvarové šošovky majú väčší priemer (asi ako elektróda), ich výška býva asi 30% celkovej hrúbky oboch plechov, mechanické vlastnosti zvarového spoja sú lepšie.
- Zvarovací stroj musí však mať väčšie príkony a silnejšiu konštrukciu pre väčšie prítlačné sily.



Zváračací cyklus

- Ovlivňuje dynamiku procesu, tzn. vznik zvarovej šošovky, metalurgické zmeny a konečné vlastnosti zvarového spoja.
- Najčastejšie je používaný zváračací cyklus s konštantnou silou a konštantným prúdom.



Tepelná rovnováha

- Vznik dokonalého odporového zvaru predpokladá vzhľadom na stykovú rovinu zváraných dielcov tepanú symetriu vo zvarovom spoji.
- Tento predpoklad platí nielen pre fázu ohrevu, ale aj pre fázu ochladzovania.
- Keď bude tepelná rovnováha porušená (rozdielnymi vlastnosťami zváraných materiálov, nerovnakými hrúbkami pod.), zváraný materiál sa bude ohrievať nerovnomerne a nesymetricky.
- Dôsledkom bude nerovnaké natavenie zváraných materiálov a vzhľadom k rozhraniu materiálov vytvorenie asymetrickej zvarovej šošovky.



Bodové zváranie



Princíp bodového zvarania

- Bodové zvaranie je odporové zvaranie, pri ktorom sa zvárané materiály navzájom preplátujú a stlačia medzi medenými elektródami.
- Časový spínač zapne elektrický prúd, ktorý prejde materiálom, prúd má veľkú intenzitu, na stykových plochách je prudko zabrzdený, čím vznikne teplo potrebné na vytvorenie zvaru.
- Zvar má tvar šošovky a vytvára sa bez prídavného materiálu.
- Zdrojom zvaracieho prúdu je zvarací transformátor.
- Prúd zo sekundárneho vinutia transformátora sa privádza do elektród pevnými a ohybnými prívodmi zvaracieho stroja.
- Priebeh elektrického prúdu sa reguluje najčastejšie elektronicky.



Bodové zváranie





Bodové zváranie





Bodové zváranie





Zváracie parametre pre bodové zváranie

- ▶ V technickej praxi sa pri voľbe zváracích parametrov používajú tabuľky spracované na základe skúšok.
- ▶ Okrem veľkosti základných parametrov (zvárací prúd I , prítlačná sila F a zvárací čas t) pre každú triedu a hrúbky materiálov sa uvádzajú aj ďalšie údaje:
 - ▶ odporúčaný priemer dosadacích plôch elektród,
 - ▶ minimálna veľkosť preplátovania,
 - ▶ minimálny rozstup osí susedných zvarových spojov,
 - ▶ minimálna vzdialenosť osí zvaru od okraja plechu a ďalšie parametre.
- ▶ Hodnoty zváracieho prúdu I a zváracieho času t môžu byť uvedené v podobe dvoch pracovných režimov (mäkký zvárací režim a tvrdý zvárací režim).



Vznik bodového zvaru

- Vloženie zváraných súčastí medzi elektródy
- Zovretie elektród
- Zapnutie prúdu
- Vypnutie prúdu
- Oddialenie elektród



Odpory zváracieho obvodu

- Celkový činný odpor R je tvorený súčtom prechodových odporov a materiálových odporov.
- Uvedené odpory nie sú počas trvania zváracieho cyklu konštantné.
- Prechodové odpory sa menia v závislosti na veľkosti prítlačnej sily, na hodnote teploty a na stave povrchov kontaktných materiálov.
- Materiálové odpory sú funkciou merného odporu materiálu, hrúbky materiálu a pomyselného prierezu toku elektrického prúdu materiálom.
- Menia sa rovnako s teplotou, ktorá je funkciou času. Prierez toku elektrického prúdu je daný prierezom elektród.
- Priemer elektród je daný vzťahom:
 - $d = 5j \sim s$ [mm]; s - hrúbka materiálu [mm]



Švové zváranie



Princíp švového zvárania

- Švové zváranie sa v princípe podobá zváraniu bodovému.
- Na rozdiel od bodového zvárania zvarový spoj vzniká medzi dvoma otáčajúcimi sa kotúčmi - elektródami (v zvláštnych prípadoch jedným).
- Zvarový šev je vytvorený z jednotlivých, akoby bodových zvarov.
- Pokiaľ sa zvary dostatočne prekrývajú, spoj je tesný.
- Vzdialenosť medzi jednotlivými zvarmi je závislá na obvodovej rýchlosti otáčania elektród, prirodzenej modulácii (50 Hz) zvaracieho prúdu alebo cieleného prerušovania prúdu.
- Prúd má v každej perióde dve maximá - kladné a záporné, vtedy sa tvoria jadrá zvarov.
- Keď prechádza prúd nulou, teplo nevzniká.
- Za jednu sekundu sa teda vytvorí 100 zvarov.
- Odpory vo zvarovej oblasti sú podobné odporom pri bodovom zváraní.

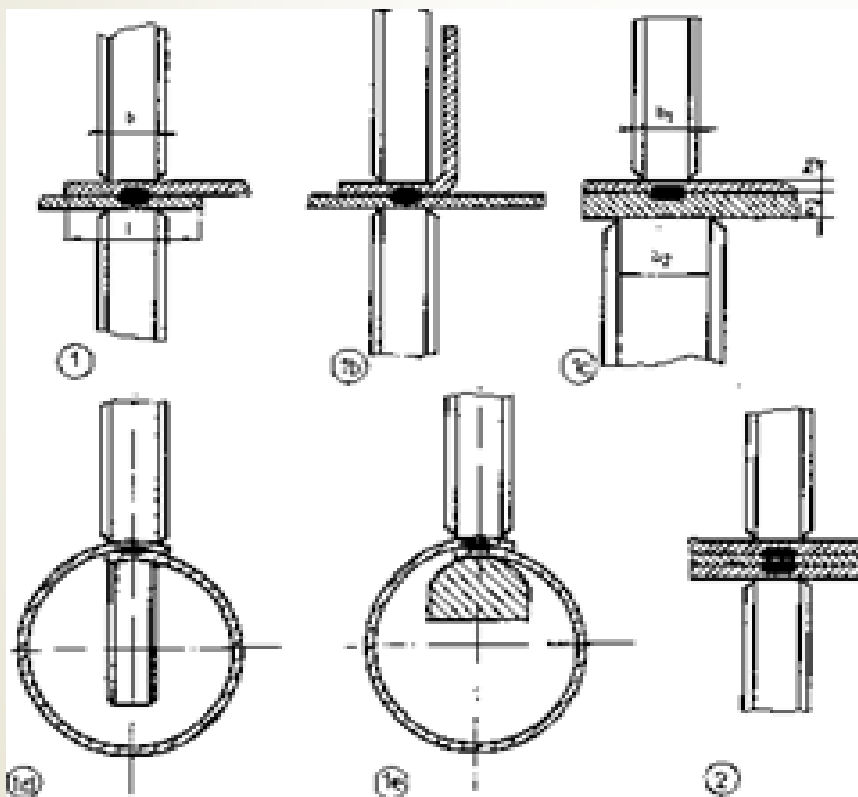


Zváracie parametre a typy a tvary spojov

- ▶ Pri švovom zváraní sa používajú nasledujúce parametre zvárania:
 - ▶ zváracia sila F (počas zvárania konštantného),
 - ▶ zvárací prúd I (počas zvárania konštantného),
 - ▶ zváracia rýchlosť v (obvodová rýchlosť kotúčov - počas zvárania konštantného),
 - ▶ modulácia zváracieho prúdu (prerušovania prúdu, ak bude potrebné)



Typy švových zvarov



- 1a - základný typ;
- 1b - zvar zhotovený jednostranne skoseným kotúčom;
- 1c - zvar s nerovnakými hrúbkami;
- 1d - plášťový spoj nádoby;
- 1e - plášťový spoj nádoby zhotovený na tmu;
- 2 - zvar s tromi hrúbkami plechov

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 zváranie



Princíp výstupkového zvárania

- Výstupkové zváranie je taký spôsob odporového zvárania, pri ktorom sa zvarové spoje vytvárajú na vopred pripravených výstupkoch.
- Výstupky sú zhotovené väčšinou len na jednom zo zváraných dielcov.
- Výstupkovým zváraním je možné vytvoriť niekoľko bodových zvarov naraz.
- Úlohou výstupkov je koncentrovať prúd a silu do miesta budúceho zvaru.
- Na zváranie sa používa zvarací lis, pričom zvary sa zhotovujú buď medzi plochými elektródami, alebo v prípravkoch respektíve v čeľustiach.
- Riešenie tepelnej rovnováhy je ako u bodového zvárania.

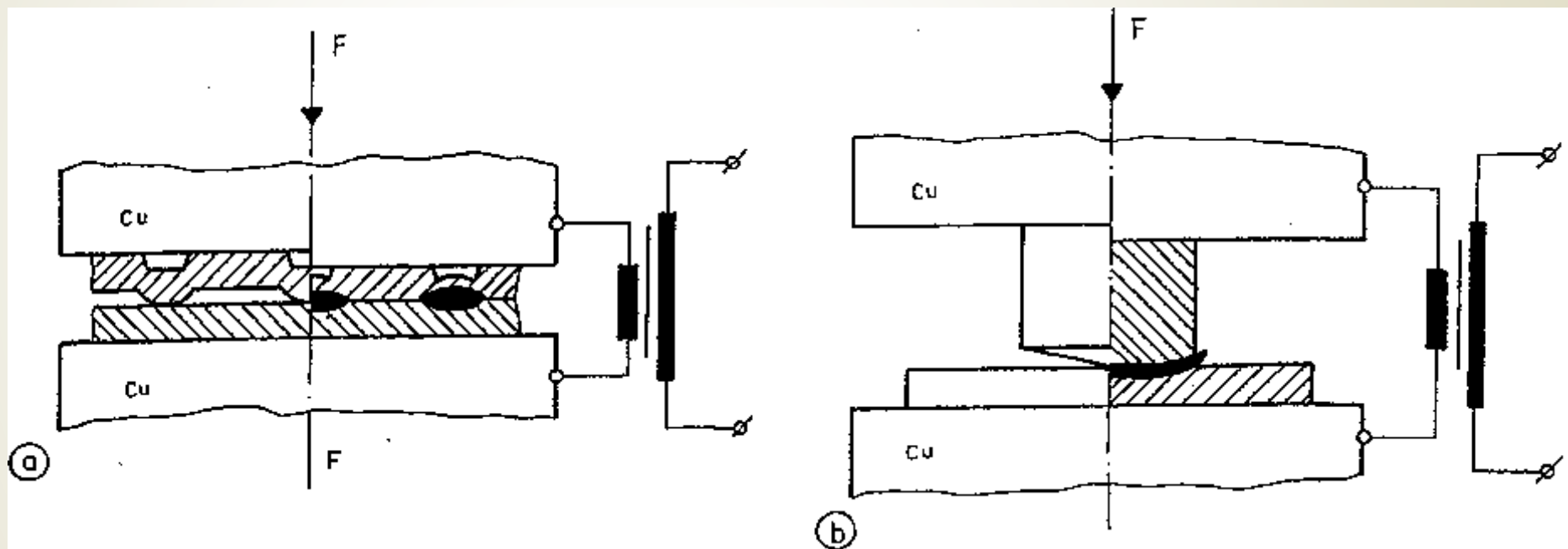


Spôsoby výstupkového zvárania

- výstupkové zváranie pomocou prelisovaných výstupkov (pri zváraní plechov),
- výstupkové zváranie pomocou masívnych výstupkov (alebo s použitím medzivložiek).



Výstupkové zváranie



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.

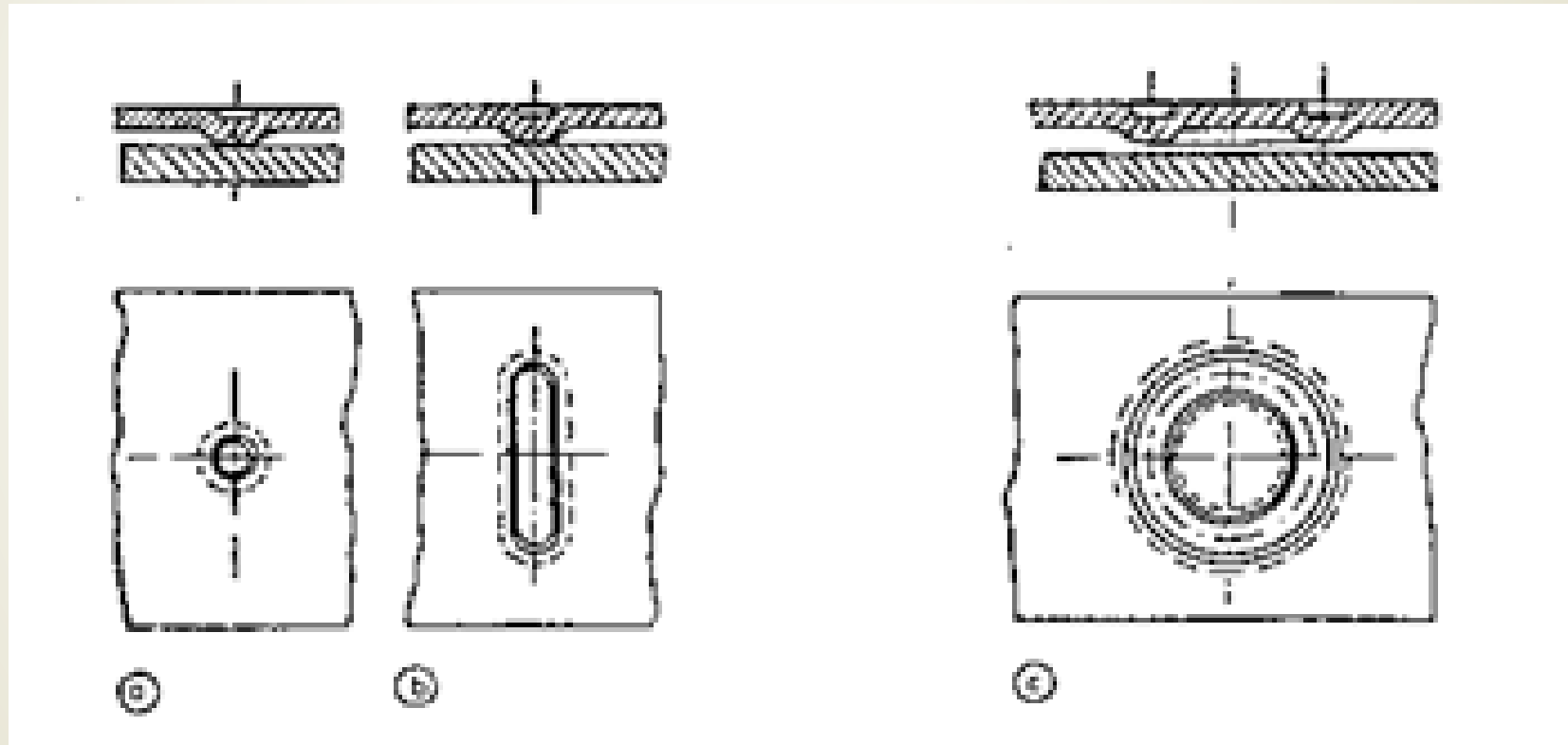


Zváracie parametre

- ▶ U výstupkového zvarania sú tie isté zváracie parametre ako u bodového zvarania: prítlačná sila F , zvárací prúd I a zvárací čas t .
- ▶ Môžeme tiež použiť mäkký alebo tvrdý zvárací režim.
- ▶ Priebeh programových parametrov (zvárací cyklus) má podobný charakter ako pri bodovom zvaraní.



Typy spojov zhotovených výstupkovým zvaráním





Stykové tlakové zváranie



Princíp stykového tlakového zvarovania

- ▶ Stykové tlakové zvarovanie je spôsob odporového zvarovania, pri ktorom sa zvarované dielce (najčastejšie drôty alebo tyče) pritláčajú k sebe čelami.
- ▶ Pri prechode elektrického prúdu sa prednostne ohrieva oblasť styku oboch čelných plôch, pretože v tomto mieste je najväčší elektrický odpor.
- ▶ Vzhľadom k častej veľkej dĺžke sú zvarované dielce orientované horizontálne.
- ▶ Prúd sa privádza do dielcov prostredníctvom čelustí, ktoré majú nielen funkciu elektród, ale aj mechanicky upínajú dielce a musia zabrániť ich preklíznutiu pri vyvodení zvaracej (pritláčacej) sily.
- ▶ Pri stlačení zvarovaných materiálov a prechodu zvaracieho prúdu sa dosahuje teplota blízkej bodu tavenia.
- ▶ Vysoko ohriaty plastický materiál sa zo zvaru čiastočne vytláča a vytvára výstupok.
- ▶ Z toho vyplýva, že dielce sa pri zvarovaní skrátia.
- ▶ Po vypnutí zvaracieho prúdu, ochladení a stuhnutí materiálu sa vytvorí difúzny zvarový spoj.
- ▶ Až potom môže byť zrušená zvaracia sila.



Zváracie parametre pri stykovom zváraní

- Zváracie parametre sú rovnaké ako u bodového a výstupkového zvárania:
 - prítlačná sila F ,
 - zvárací prúd I
 - zvárací čas t .
- Môžeme tiež použiť mäkký alebo tvrdý zvárací režim.
- Pri zváraní dvoch materiálov rôznej kvality je dôležitá rovnováha materiálových odporov R_m .
- Zväčšenie odporu vodivejšieho materiálu sa vykoná väčším vysunutím materiálu z čelustí v porovnaní s materiálom horšej vodivosti.
- Tým sa zaistí stav tepelnej rovnováhy.



Stykové odtavovacie zváranie



Princíp stykového odtavovacieho zvárania

- Stykové odtavovacie zváranie má podobný princíp ako stykové tlakové zváranie.
- Zvárané dielce sa ešte pred stlačením pripoja na zvärací transformátor, ktorý je pod napätím.
- Použité napätie je nízke (3 V až 5 V), aby nevznikol elektrický oblúk.
- Dielce sa potom začnú k sebe približovať veľmi malou rýchlosťou (rádovo $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$) na dotyk v jednom alebo viacerých miestach.
- Dotykom vzniknú prúdové mostíky.
- Pretože stlačovacia sila je minimálna (blíži sa k nule), prechodový odpor medzi dielcami bude mimoriadne veľký a pretekajúci prúd bude malý.
- Materiál sa v mieste dotyku prudko nataví a časť roztaveného kovu vystrekne.



Princíp stykového odtavovacieho zvárania

- Vystrekujúci kvapalný kov a expandujúce kovové pary súčasne vytlačajú zo zvaru vzduch a chránia ohriaté zvarové plochy pred oxidáciou.
- V mieste bývalého mostíka vznikne kráter vyplnený taveninou kovu a rozrušením prúdového mostíka vznikne medzi dielcami medzera.
- Dielce sa ale stále približujú, takže vzápätí vznikajú nové dotyky, nové prúdové mostíky a celý dej sa opakuje tak dlho, kým roztavený kov na dne kráterov nepokryje celú plochu na čelách zvarovaných dielov súvislou vrstvou taveniny kovu.
- Potom nasleduje druhá fáza - stlačenie.
- Dielce sa navzájom pod zvýšenou silou energicky stlačia a prúd sa vzápätí vypne.
- Roztavený kov oboch čelných plôch za spolupôsobenia sily vytvorí zvar.



Zváracie parametre stykového odtavujúceho zvarovania

- ▶ U stykového odtavovacieho zvarovania sa používajú nasledujúce zváracie parametre:
 - ▶ zvárací prúd I (pri odtavovaní klesá až pod 25 A.mm^{-2}),
 - ▶ stlačovacia sila F (vo fáze odtavovania je minimálna, vzrastie až vo fáze stláčania),
 - ▶ odtavovacia rýchlosť v (v rozmedzí $0,25 \text{ mm.s}^{-1}$ pre veľké až 6 mm.s^{-1} pre malé prierezy),
 - ▶ dĺžka odtavenia l_0 (v rozmedzí $0,2$ až $0,5$ priemeru D alebo 2 až 5 x rozvinutá hrúbka).

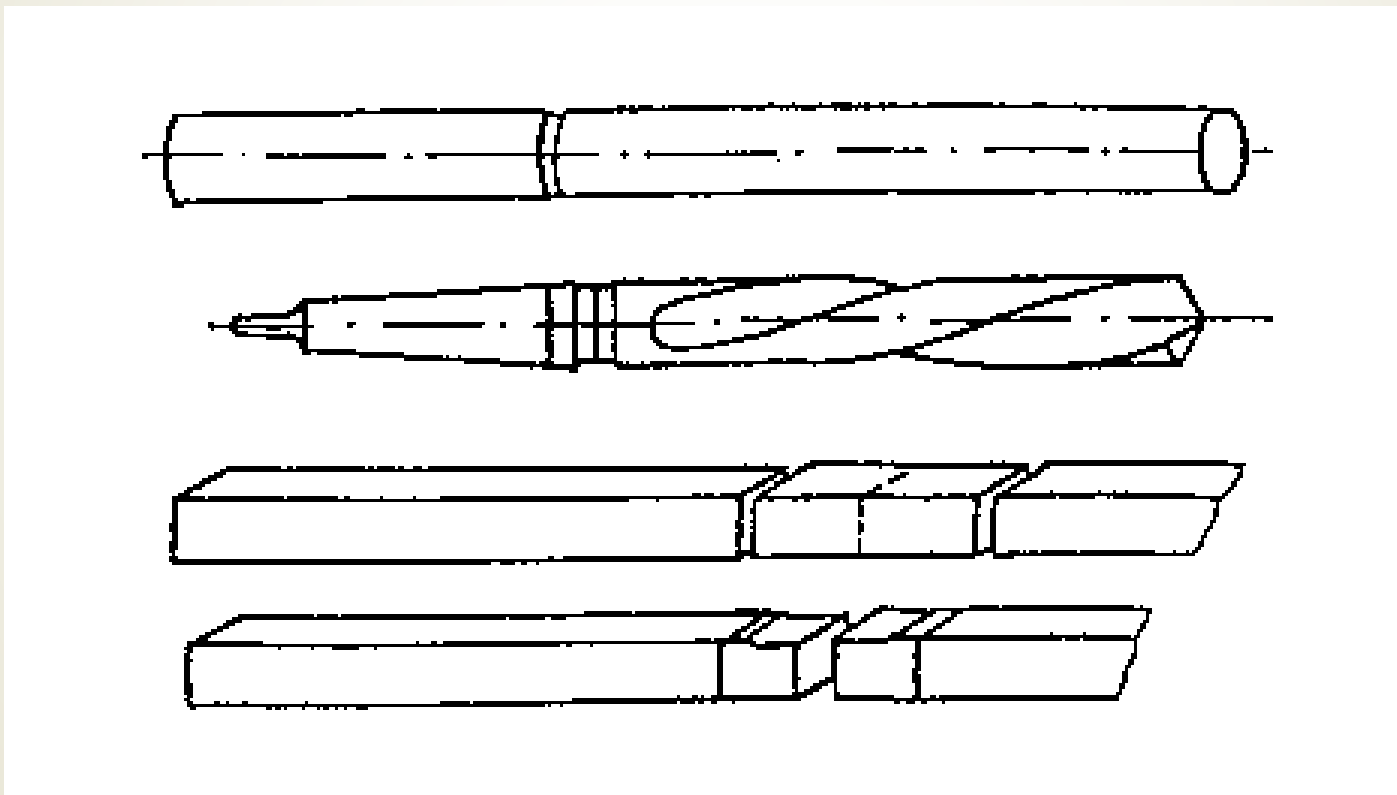


Zváracie parametre stykového odtavujúceho zvárania

- ▶ V niektorých prípadoch sa používa stykové odtavovacie zváranie s predhrevom.
- ▶ Predohrev sa uskutočňuje prerušovanými skratmi.
- ▶ Dielce sa opakovane k sebe pritláčajú a vzdalujú (tzv. reverzná predohrev).
- ▶ Pri každom dotyku sa ohrejú, ale aj čiastočne topia.
- ▶ Predohrev napomáha priebehu odtavovacej fázy (znižuje príkon) a predchádza prípadnému zakaleniu.



Typy a tvary spojov



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 zváranie

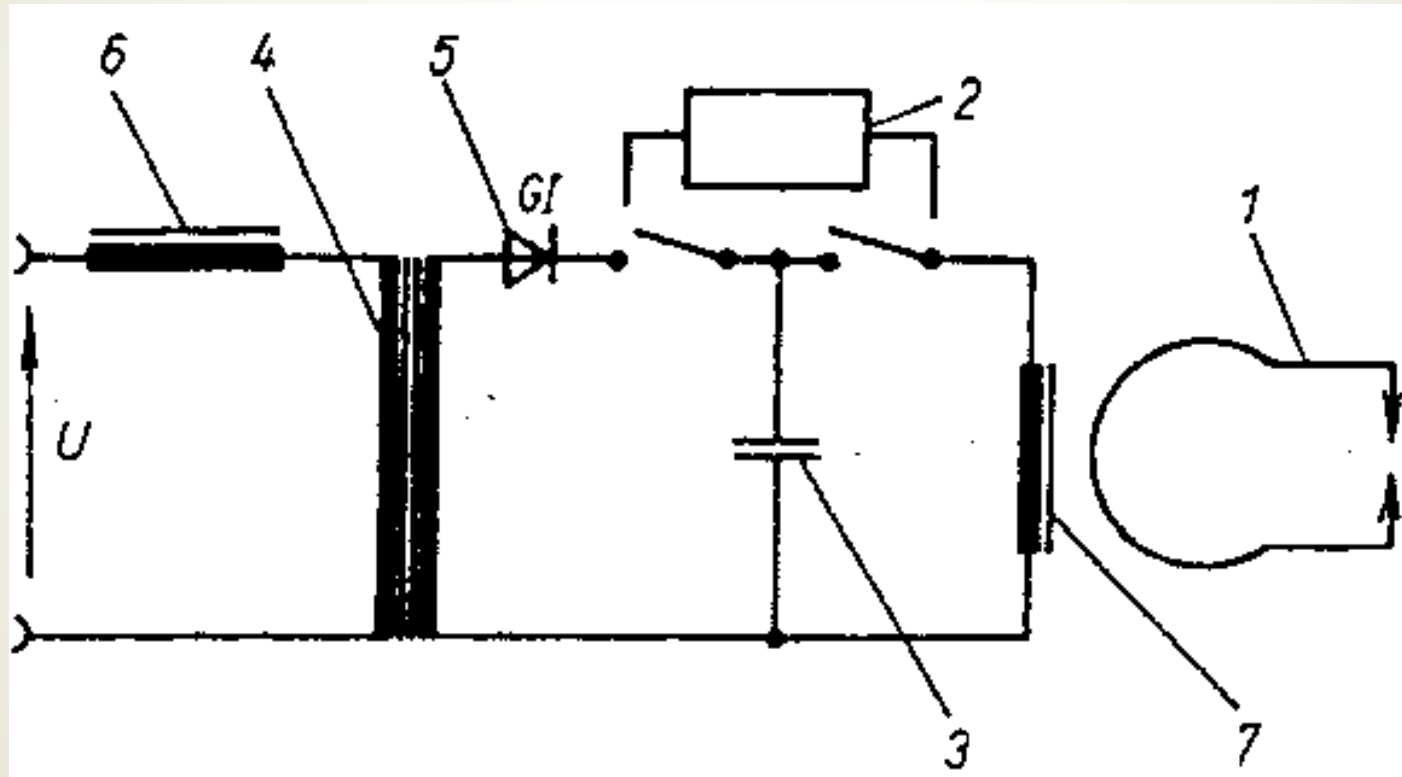


Schéma zapojenia kondenzátorovej zvaračky
1 - zvárací obvod;
2 - riadenie cyklu;
3 - kondenzátorová batéria;
4 - vysokonapäťový transformátor;
5 - usmerňovač;
6 - tlmivka;
7 - impulzný transformátor

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 zváranie

- Pri tejto technológii sa kondenzátorová batéria ultrapulznej zvaračky nabije stabilizovaným napätím, čím sa získa energia s konštantnou veľkosťou.
- Výkon privádzaný do zvaru je veľký, jedná sa o zváranie prúdovým rázom s veľkosťou prúdov 10 kA až 250 kA, za veľmi krátku dobu 1 m/s až 10 m/s, s presným riadením vznikajúceho tepla, v spojení s presne riadenou prítlačnou silou.
- Tento priebeh zvaracieho procesu, s veľkou koncentráciou energie, krátkym zvaracím časom pôsobí na vytvorenie veľmi úzkeho tepelne ovplyvneného pásma a tiež minimálnych deformácií a vedie k spojeniu súčastí pri minimálnom natavení, čo je príčinou toho, že nedochádza k premiešaniu materiálov a k hutníckym zmenám.



Odporové kondenzátorové zváranie

- Použitie tohto spôsobu je vhodné na spájanie drobných, lisovaním vyrobených dielov v oblasti jemnej mechaniky, v sériovej a hromadnej výrobe.
- Po stránke materiálovej možno tento spôsob použiť pre spájanie všetkých neželezných kovov a ich vzájomných kombinácií a tiež v kombinácii s oceľou.
- Zváranie sa uskutoční buď na princípe bodového zvárania, alebo výstupkového zvárania na lise.



Otázky na zamyslenie

1. Aké sú výhody odporového zvarovania?
2. Aký je princíp odporového zvarovania?
3. Aké sú hlavné spôsoby odporového zvarovania?
4. Čo je to mäkký a tvrdý režim pri odporovom zvarovaní?
5. Aké sú zvaracie parametre pri odporovom zvarovaní?
6. Popíšte spôsob práce pri bodovom zvarovaní.
7. Kde sa používa švové zvarovanie?
8. Aký je princíp práce u stykového zvarovania s odtavením?
9. Kde sa využíva tlakové stykové zvarovanie odporom?



Doporučená literatura a informačné 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.