

ODPOROVÉ ZVÁRANIE

Odporové zváranie je tepelno-deformačný proces, pri ktorom zvarový spoj vzniká pri spolupôsobení tepla vznikajúceho prechodom elektrického prúdu, ktoré je potrebné pre natavenie zváraných materiálov a tlaku.

Odporové zváranie je možné rozdeliť na:

- 1 – bodové zváranie,
- 2 – deltapot zváranie,
- 3 – švové zváranie,
- 4 – výstupkové zváranie,
- 5 – stykové stláčacie zváranie,
- 6 – stykové odtavovacie zváranie,
- 7 – vysokofrekvenčné zváranie.

Pri odporovom zváraní:

- sa teplo potrebné na zváranie vytvára priamo v spoji,
- na vznik zvaru je potrebná sila,
- nepoužívajú sa prídavné materiály

Procesy odporového zvárania sa riadia Ohmovým a Joulovým zákonom.

Ohmov zákon:

$$I = \frac{U}{R} \quad [A] \quad (3)$$

kde: I – prúd [A], U – napätie [V], R – elektrický odpor [Ω]

Napätie pri odporovom zváraní sa zväčša pohybuje v rozpätí od 3 do 20 V, čiže nehrozí úraz elektrickým prúdom.

Joulov zákon:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [J] \quad (4)$$

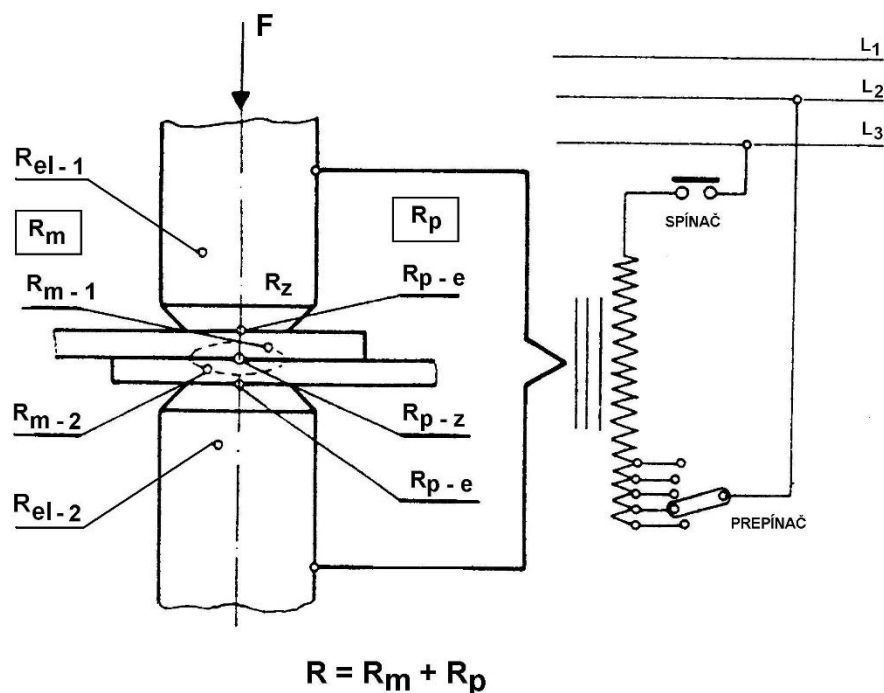
Množstvo tepla vo zvare bude:

- a) tým väčšie, čím bude väčší zvarací prúd,
- b) tým väčšie, čím dlhší čas bude prúd pretekať,
- c) tým väčšie, čím bude väčší odpor zvaru.

Bodové odporové zváranie

Bodové zváranie je odporové zváranie, pri ktorom sa zvárané materiály navzájom preplátujú a stlačia medzi elektródami z medenej zliatiny (obr. 16), čím sa uzatvorí sekundárny obvod zvaračky. Prechodom elektrického prúdu sa na rozhraní stláčaných materiálov roztaví určitý objem materiálu, ktorý po vypnutí el. prúdu tuhne a vytvára zvarový kov. Zvar má tvar šošovky a vytvára sa bez prídavného materiálu.

Odpor pri bodovom zváraní



$$R = R_m + R_p$$

Obr. 16 Odpor v oblasti bodového zvaru,
 R – celkový odpor, R_m – materiálové odpory $R_{m-1,2}$, $R_{el-1,2}$,
 R_p – prechodové odpory R_{p-e} a R_{p-z} , F - sila

Prechodové odpory R_p vznikajú na rozhraní dvoch dotýkajúcich sa materiálov. Pri bodovom zváraní dvoch plechov sú to tri odpory. Odpor medzi hornou elektródou a horným plechom, odpor medzi zváranými plechmi a odpor medzi spodným plechom a spodnou elektródou. Z čoho vyplýva:

$$R_p = R_{p-e} + R_{p-z} + R_{p-e} \quad [\Omega] \quad (5)$$

Čím bude prítlačná sila väčšia, tým bude prechodový odpor menší. Na prechodové odpory vplýva vodivosť dotýkajúcich sa kovov.

Teplo ktoré vzniká medzi elektródou a zváraným materiálom, závisí od čistoty a drsnosti dotykových plôch, od zváracieho režimu a účinnosti chladenia. Pre dosiahnutie kvalitných zvarov je potrebné prechodové odpory medzi elektródou a zváraním materiálom znížiť na minimum, t.j. dôkladne očistiť plochy zváraných materiálov.

Materiálové odpory R_m sú dané fyzikálnymi vlastnosťami - vodivosťou materiálu, resp. odporom zváraného materiálu a zváracích elektród. (Vodivosť je prevrátená hodnota odporu).

Dôležitú úlohu zohráva aj hrúbka zváraných plechov, počet plechov a prierez prúdovej cesty.

$$R_m = R_{m-1} + R_{el-1} + R_{m-2} + R_{el-2} \quad [\Omega] \quad (6)$$

Celkový odpor R je súčtom prechodových a materiálových odporov v oblasti zvaru:

$$R = R_p + R_m \quad [\Omega] \quad (7)$$

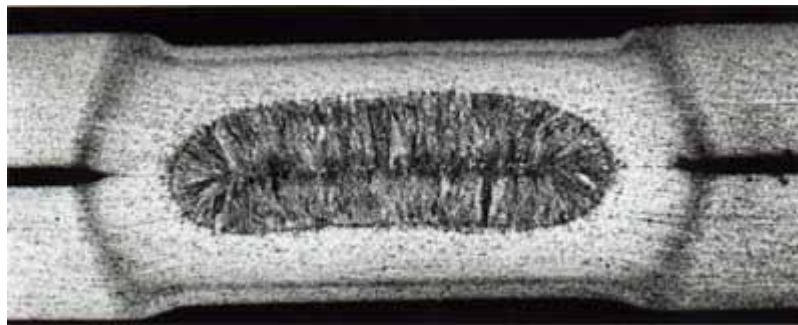
Počas zvárania sa budú veľkosť všetkých odporov meniť. Postupným ohrevom stúpa odpor.

Pri odporovom zváraní zohráva dôležitú úlohu aj **induktívny odpor**. Tento závisí od veľkosti zväracieho okna (vzdialenosti a vyloženia ramien bodovačky), frekvencie zväracieho prúdu a od veľkosti magnetickej hmoty vlozenej do zväracieho obvodu. Znižovaním frekvencie klesá induktívny odpor. Zmenšováním zväracieho okna, znižovaním frekvencie a vylúčením magnetickeho materiálu je možné do zvaru dodať viac energie, čo umožňuje zvärať väčšie hrúbky.

Metalurgické procesy pri bodovom zváraní

Vznik bodového zvaru charakterizuje prudký rýchly ohrev na teplotu tavenia a následné rýchle ochladenie.

Plechý pritlačené k sebe elektródami sa v mieste styku začnú natavovať. Po natavení nastáva rýchle ochladzovanie zvaru s pásom tepelne ovplyvnenej zóny. Najvyššia teplota sa dosiahne v strede roztaveného jadra. Zvarový kov kryštalizuje v tvare šošovky s charakteristickou dendritickou (liacou) štruktúrou (Obr. 17).



Obr. 17 Bodový zvar dvoch preplátovaných plechov

Základné parametre odporového zvárania

Zväracia sila môže byť konštantná, alebo meniteľná. Zväracia sila má elektrickú - (vplyva na prechodový odpor) a metalurgickú funkciu - (zabraňuje expanzii roztaveného jadra a tiež pri tuhnutí pôsobí na rast zrna). Zväracie sily sú v rozsahu 100 N až 50 kN, u stykoviek 50 N až 1000 N.

Zvärací prúd a zvärací čas sú vo vzájomnej kombinácii rozhodujúcimi činiteľmi vplyvajúcimi na vznik tepla vo zvare. Zvärací prúd môže byť počas zvárania konštantný alebo sa môže meniť, prípadne prerušovať. Keďže prúd je v druhej mocnine (Joulov zákon), dvojnásobným zvýšením prúdu sa teplo teoreticky zväčší štyrikrát. Zvärací prúd býva v rozsahu 100 A až 100 kA a zväracie časy v rozsahu 0,001 s až 2,0 s, u stykoviek rádovo 10 s.

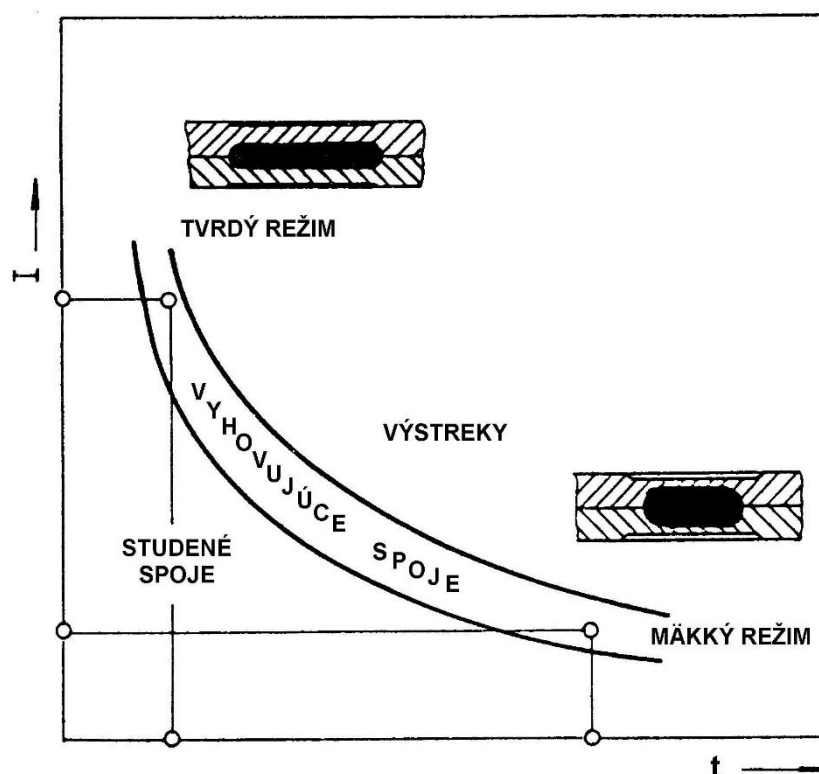
Tieto parametre medzi sebou súvisia a preto sa hovorí o tzv. **mäkkom** a **tvrdom** zväracom režime.

Mäkký zvärací režim: Vyznačuje sa väčším tepelným ovplyvnením. Šošovka má malý priemer, má veľkú výšku a hrubozrnnú štruktúru, čo zhoršuje mechanické vlastnosti zvaru. Zvära sa menšími prúdmi do 10 kA a dlhšími časmi 20 až 100 periód pri menšej zvärackej sile do 5 kN a pri menšom počte bodov za časovú jednotku. Pri tomto režime sú menšie nároky na pripojovací výkon väčšinou stačí bežný sieťový 380V rozvod do 63A. Používa sa pri zváraní materiálov náchylných na zakalenie. Na povrchu zväraných materiáloch sú v dôsledku

zmäknutia výrazné odtlacky po elektródach. Životnosť elektród je nižšia v porovnaní s tvrdým režimom.

Tvrдый zvarací režim: Zvarová šošovka má väčší priemer, ale menšiu výšku a zváranie je produktívnejšie. Mechanické vlastnosti zvarov sú v porovnaní so zvarmi zhotovenými pri mäkkom režime lepšie. Zvára sa veľkými prúdmi nad 10kA, krátkymi časmi do 20 periód pri veľkej zvaracej sile 10kN a viac pri, väčšom počte bodov za časovú jednotku. Pri tomto režime sú pomerne veľké nároky na pripojovací výkon - rozvody nad 100A. o napätí 380V. Tvrдый režim sa nedá použiť pri kaliteľných materiáloch.

V praxi sa zvára niekde medzi týmito režimami v oblasti vyhovujúcich zvarov - vid' obr. 18.



Obr. 18 Oblasti zvaracích režimov

Parametre pre rozlíšenie zvaracích režimov sú prezentované v tabuľke 1.

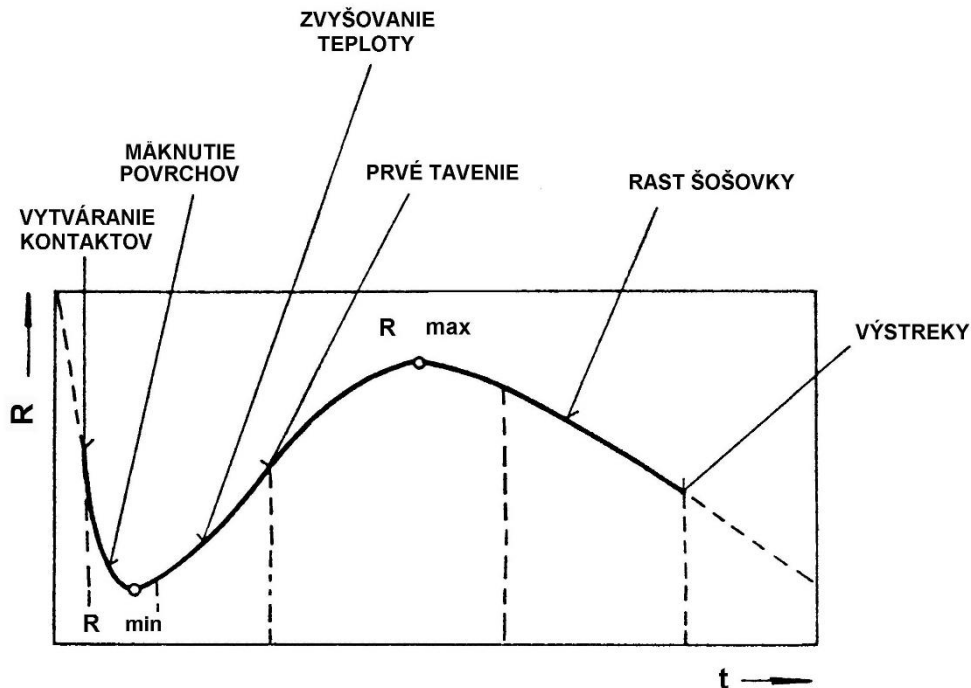
Tab. 1 Parametre odporového bodového zvárania

Parametre	Mäkký režim	Tvrдый režim
Zvarací tlak	do 60 MPa	vyšé 80 MPa
Zvarací prúd	do 150 A.mm ⁻²	vyšé 200 A.mm ⁻²
Zvarací čas	asi 1 s	desatiny s

Okrem základných parametrov je potrebné zohľadniť aj ďalšie veličiny vplývajúce na proces zvárania ako minimálna veľkosť preplátovania, vzdialenosť osi zvaru od okraja plechu, predpokladaný priemer šošovky, minimálna pevnosť spoja a pod.

Dynamika zvaracieho procesu

Odpory v zvarovej oblasti sa počas zvárania menia (obr. 19). Celkový odpor (R) spočiatku klesá vplyvom zmäknutia povrchov, čo spôsobí lepšie dosadenie elektród. S postupujúcim vytváraním šošovky začne zanikať prechodový odpor R_p - z , ale celkový odpor napriek tomu vzrastá. Rozhodujúcu úlohu má zvyšujúci sa ohrev - s teplotou stúpa odpor materiálu.



Obr. 19 Zmena odporu R v oblasti zvaru počas zvárania

Postupne sa vytvárajúca šošovka (z roztaveného kovu) má snahu expandovať. Expanzia pôsobí proti prítlačnej sile a má snahu elektródy odtláčať. Ak by prítlačná sila nebola postačujúca, vplyvom expanzie by zvarový kov vystrekol.

Zváracie elektródy

Zváracie elektródy majú bezprostredný vplyv na kvalitu zvarového spoja. Privádzajú elektrický prúd a súčasne silu do zváraných dielcov. Pri zváraní dochádza k ich ohrevu, preto je potrebné ich intenzívne chladiť. Vo vnútri elektród je otvor pre možnosť ich chladenia chladiacou kvapalinou. Musia byť odolné proti opotrebeniu a dostatočne elektricky vodivé. Elektródy sa vyrábajú z medi vyrobenej elektrolyticky alebo zo zliatin medi. Najčastejšie sa používajú zliatiny $CuCrZr$, $CuBeCo$, $CuCd$, $CuAg$ v závislosti od zváraných materiálov. Zvyšovaním množstva legujúcich prvkov v medi klesá jej elektrická vodivosť, avšak jej pevnosť sa zvyšuje. Na kvalitu zvarového spoja vplýva aj čistota kontaktných plôch zvaracích elektród. Pri zváraní povrchovo upravených plechov dochádza k ich znečisteniu, čo má za následok pokles elektrickej vodivosti. Preto je potrebné kontaktné plochy elektród očistiť napr. brúsením a sústružením.

Tvar elektród závisí od účelu použitia. Na strane, kde odpor materiálu väčší, sa volí väčší priemer elektródy (obr. 20). Priemery elektród sú nepriamoúmerné vodivosti materiálu alebo priamoúmerné jeho ohmovému odporu.

Priemer elektród závisí od hrúbky zváraných plechov a je experimentálne stanovený vzťahom:

$$d = 5 \cdot \sqrt{h} \quad [\text{mm}] \quad (4.30)$$

Zariadenia pre odporové bodové zváranie

Zváracie stroje je možné rozdeliť na:

- stabilné - /bodovky- (jednobodové, alebo mnohobodové)/,
- prenosné - /zváracie kliešte, závesné bodové zvaračky, ručné bodové kliešte/.

Podľa spôsobu vyvedenia prílačnej sily:

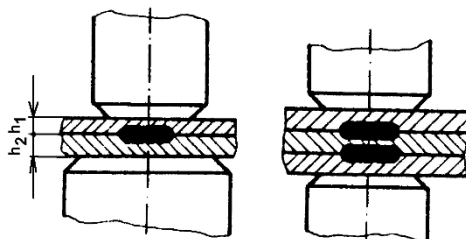
- mechanické,
- pneumatické,
- hydraulické,

Podľa príkonu:

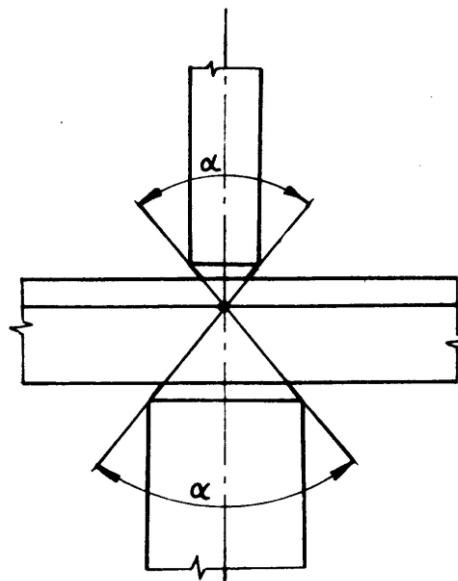
- bodové zvaracie stroje malé - /do 20kVA/,
- bodové zvaracie stroje stredné - /od 20 do 250kVA/,
- bodové zvaracie stroje veľké - /nad 250kVA/.

Typy a tvary spojov

Zvarové spoje sú realizované na preplátovaných plechoch (obr. 21). Odporovým bodovým zváraním je možné zvärať plechy od hrúbky 0,6mm do 10mm. Experimentálne do 25mm. Bodové zvary sa využívajú najčastejšie v jednoradovo a výnimočne i v dvojradovom usporiadaní. Zvarové spoje sa majú navrhovať tak, aby boli namáhané na šmyk. Vtedy majú približne dvojnásobnú pevnosť ako pri namáhaní na odtrhnutie.



Obr. 21 Odporové bodové zváranie dvoch a troch plechov



Obr. 20 Tvar elektród pri zváraní plechov rôznych hrúbok α – uhol priesečníc

Aplikácia odporového bodového zvarania

Pri zvaraní uhlíkových ocelí závisí kvalita zvarového spoja od obsahu uhlíka, ktorého nemá byť viac ako 0,22%. Austenitické ocele sa zvarajú tvrdým režimom, kvôli zabráneniu vzniku karbidov Cr.

Pre zvaranie hliníka a jeho zliatin sú potrebné väčšie zvaracie prúdy z dôvodu vyššej elektrickej a najmä tepelnej vodivosti v porovnaní z ocelami. Prekážkou zvarania je aj tvorba AL_2O_3 na povrchu.

Pre zvaranie medi je potrebné použiť kondenzátorové zvaračky. Zvárať sa dajú iba tenké medené plechy. Nepriaznivo na zvaranie vplýva vysoká elektrická a tepelná vodivosť medi, ktorá sa dá znížiť pridaním prísadových prvkov (Zn, Sn, Be a i.).

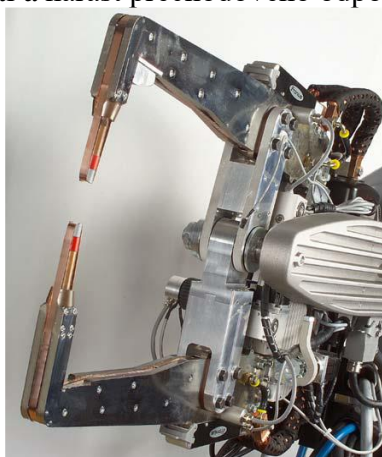
Pri zvaraní povrchovo upravených plechov dochádza k nalepovaniu povlakov (Zn, Sn a iných) na zvaracie elektródy, ktoré treba často mechanicky čistiť, čo znižuje produktivitu zvarovania a znižuje ich životnosť. Je vhodné realizovať povrchové úpravy plechov až po zvaraní.

Odporové bodové zvaranie je dominantným spôsobom zvarovania používaným pri výrobe karosérii v automobilovom priemysle. Na automobile strednej triedy sa nachádza priemerne (3000 až 5000) bodových zvarov.

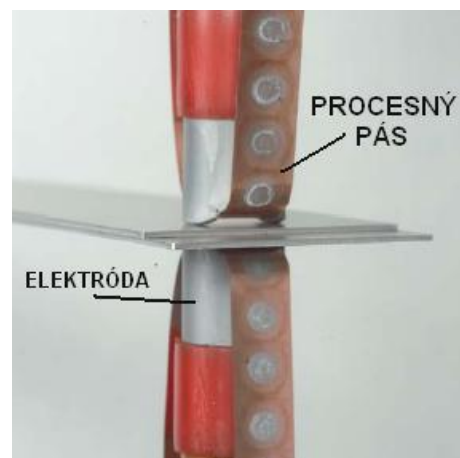
Široké uplatnenie nachádza táto technológia v leteckom a kozmickom priemysle, pri zvaraní plechov z ľahkých zliatin a titánu.

Bodové odporové zvaranie DeltaSpot

Je inováciou bodového odporového zvarania. Inovácia procesu spočíva v úprave kontaktných plôch zvaracích elektród (obr. 22). Pri zvaraní nedochádza k priamemu kontaktu zvaracích elektród a zvaraných preplátovaných plechov. Súčasťou zvaracieho zariadenia je tzv. procesný pás ktorý zabezpečuje prechod prúdu zo zvaracej elektródy do zvaraných materiálov (obr. 22b). Tento procesný pás sa po každom bodovom zvare automaticky posunie o preddefinovanú dĺžku. Týmto spôsobom je možné zabezpečiť vysokú kvalitu zvarových spojov, pri nezmenených parametroch zvarania u povrchovo upravených plechoch. Povrchová úprava plechov zinkovaním, resp. pocínovaním má nepriaznivý vplyv na životnosť zvaracích elektród pri bodovom odporovom zvaraní. Počas zvarania dochádza k nataveniu povlakov na zvaraných povrchoch a ich nalepovaniu na zvaracie elektródy, čo má za následok vznik chemických zlúčenín na kontaktných plochách elektród, následný pokles ich elektrickej vodivosti a nárast prechodového odporu.



a)



b)

Obr. 23 Deltaspot zvaračka

a – zvaracie kliešte firmy Fronius, b – detail zvaracích elektród s procesným pásom

Odpory pri bodovom zvaraní deltaspot

Celkový odpor R pri zvaraní je tvorený súčtom materiálových a prechodových odporov tak ako pri konvenčnom bodovom zvaraní.

$$R = R_p + R_m \quad [\Omega] \quad (8)$$

Materiálové odpory R_m zodpovedajú fyzikálnym vlastnostiam zvaraných materiálov ($R_{m-1,2}$), elektród ($R_{el-1,2}$) a procesných pásov ($R_{p-1,2}$).

$$R_m = R_{el-1} + R_{p-1} + R_{m-1} + R_{m-2} + R_{p-2} + R_{el-2} \quad [\Omega] \quad (9)$$

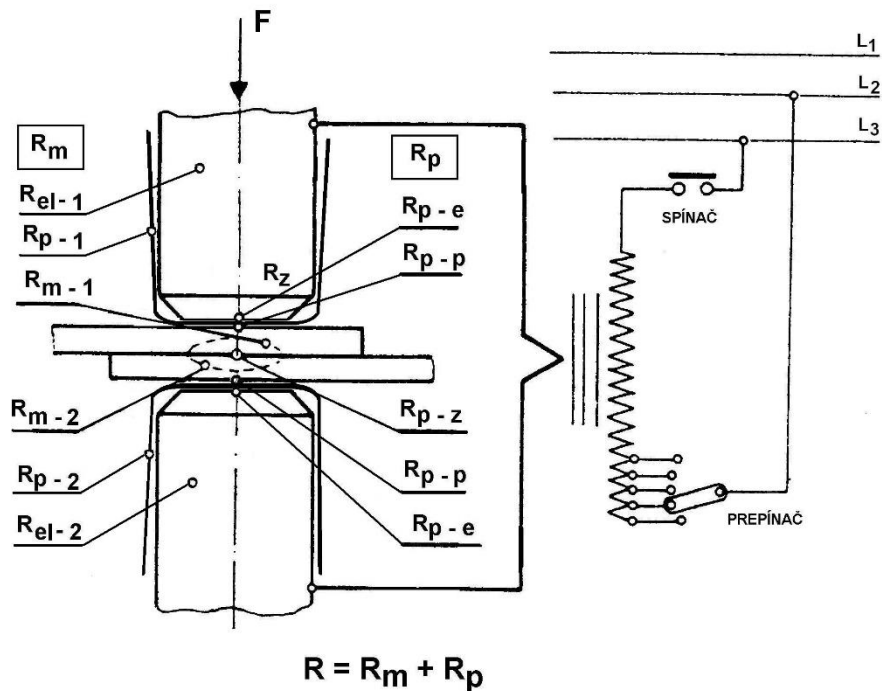
Prechodové odpory R_p na rozdiel od bodového zvarania zahŕňajú aj odpory R_{p-p} ktoré vznikajú na rozhraní zvaracích elektród a procesného pásu. Pri bodovom deltaspot zvaraní dvoch plechov je to päť odporov. Odpor medzi hornou elektródou a horným procesným pásom, medzi procesným pásom a horným plechom, odpor medzi zvaranými plechmi, odpor medzi spodným plechom a spodným procesným pásom a odpor medzi spodným procesným pásom a spodnou elektródou. Z čoho vyplýva:

$$R_p = R_{p-e} + R_{p-p} + R_{p-z} + R_{p-p} + R_{p-e} \quad [\Omega] \quad (10)$$

Na prechodové odpory vplýva vodivosť dotýkajúcich sa kovov.

Procesný pás vyrobený z medeného plechu chráni špičky zvaracích elektród pred znečistením kontaktných plôch a tým výrazne predlžuje ich životnosť v praxi. Po opotrebovaní (znečistení chemickými splodinami na povrchu vplyvom nalepovania povlakov z povrchovo upravených plechov) sa cievky s pásom vymenia.

Parametre zvarania, požiadavky na čistotu zvaraných materiálov a metalurgické procesy počas zvarania sú totožné s konvenčným bodovým odporovým zvaraním.



Obr. 23 Odpor v oblasti deltaspot zvaru,
 R – celkový odpor, R_m – materiálové odpory $R_{m-1,2}$, $R_{el-1,2}$, $R_{p-1,2}$
 R_p – prechodové odpory R_{p-e} a R_{p-z} , R_{p-p} , F - sila

Zariadenia pre deltaspot bodové zváranie

Zváracie stroje je možné rozdeliť na:

- stabilné - /bodovky/,
- prenosné - /zváracie kliešte/.

V praxi sa vo väčšej miere uplatňujú zväracie kliešte umiestnené na robotických ramenách. Vzhľadom nato že táto technológia sa využíva pri zváraní povrchovo upravených plechov, pri výrobe karosérii automobilov, poskytujú tieto zväracie kliešte typu „C“ a „X“ dobré operatívne vlastnosti aj pri zváraní v polohách a tvarovo náročných súčiastok (obr. 24).

Zväracie kliešte sú napájané napätím 230V.
 Maximálna prítlačná sila elektród je 5kN.

Procesný pás je vyrobený z čistej Cu a v dĺžke 50m je navinutý na cievke, z ktorej je po každom zvare podávacím zariadením posunutý o preddefinovanú vzdialenosť.



Obr. 24 Kliešte pre deltapot zváranie
a – kliešte typu X, b – kliešte typu C

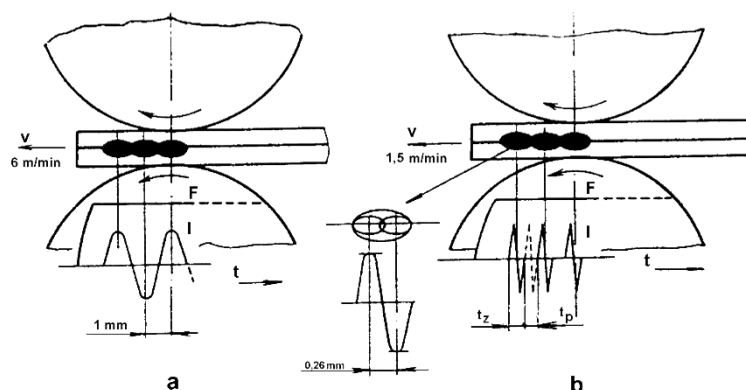
Aplikácia deltapot zvárania v praxi

Inovácia bodového odporového zvárania deltapot vyvinutá a patentovaná firmou Fronius v roku 2005 nachádza čoraz väčšie uplatnenie najmä pri zváraní povrchovo upravených karosárskych plechov v automobilovom priemysle.

Švové zváranie

Rozdielom švového zvárania v porovnaní s bodovým zváraním je, že zvarový spoj vzniká medzi dvoma proti sebe otáčajúcimi sa kotúčovými elektródami (obr. 25). Prechodom zvaracieho prúdu cez kotúčové elektródy vznikajú medzi preplátovanými zváranými materiálmi prekrývajúce sa bodové zvary ktoré sa nazývajú zvarový šev. Pokiaľ sa zvary dostatočne prekrývajú, spoj je tesný.

Proces zvárania sa uskutočňuje pri prirodzenej modulácii (50 Hz) zvaracieho prúdu alebo cieľeným prerušovaním prúdu. Zvarací prúd má v každej perióde dve maximá (kladné a záporné), kedy sa tvoria jadrá zvarov. Keď prechádza prúd nulou, teplo nevzniká (obr. 25). Za jednu sekundu sa vytvorí 100 zvarov.



Obr. 25 Princíp švového zvárania a modulácia zvaracieho prúdu
pri zváraní rôznymi rýchlosťami
a – prirodzená modulácia pri rýchlosti $v = 6 \text{ m/min}$ a frekvencii 50 Hz,
b – prerušovanie (modulácia) pri rýchlosti $v = 1,5 \text{ m/min}$
F – prítláčná sila, I – zvarací prúd, t_z – zvarací čas, t_p – čas prúdovej prestávky

Odpory v zvarovej oblasti (prechodové i materiálové) sú podobné ako pri bodovom zváraní. Zvárané povrchy musia byť čisté.

Zváracie parametre

Pri švovom zváraní sa používajú nasledujúce parametre zvárania:

- zvärací prúd /I/
- prítlačná (zváracia) sila /F/
- zväracia rýchlosť /v/
- modulácia zväracieho prúdu

Zvärací prúd (I) je pri švovom zváraní väčší ako pri bodom a stúpa s rýchlosťou zvárania. Súvisí to s nutnosťou natavenia väčšieho množstva kovu a tiež so stratami nazývanými ako (shunt), spôsobenými odbočovaním a únikom prúdu cez už vyhotovené zvary.

Prítlačná (zváracia) sila (F) zabezpečuje vzájomný kontakt zväraných dielcov a kontakt kotúčových elektród. Prítlačná sila je väčšia v porovnaní s bodovým zváraním z dôvodu použitia vyšších zväracích prúdov. Druhým dôvodom je že otáčajúce sa elektródy opúšťajú miesto zvaru ešte pred jeho stuhnutím.

Zväracia rýchlosť (v) je totožná s obvodomovou rýchlosťou zväracích kotúčov. Je obmedzená výkonom transformátora. Optimálnou je označovaná rýchlosť $v = 6$ m/min. Pri vysokých rýchlostiach zvárania (nad 30 m/min) stúpa nebezpečenstvo vzniku netesnosti pri zváraní. Pri nízkych rýchlostiach (pod 3 m/min) sa zvyšuje riziko prehriatia a pretavenia celej zväranej hrúbky.

Modulácia (prerušovanie) zväracieho procesu (t_z/t_p) sa využíva na zamedzenie nežiaduceho prehrievania zvaru. Pri konštantných otáčkach kotúčov sa reguluje čas prechodu zväracieho prúdu (t_z) a čas prerušenia prúdu (t_p). Čím je rýchlosť menšia, tým je čas prerušenia dlhší, a tým sa na určitej dĺžke vyvinie menej tepla.

Programový priebeh zvárania je odlišný od bodového zvárania. Predhrev ani kovanie sa nepoužíva.

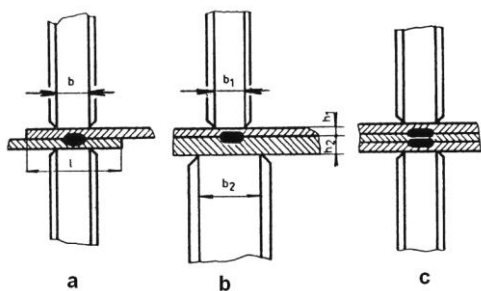
Dynamika vzniku zvaru

Zvarový spoj vniká ešte pred schladnutím predchádzajúceho zvaru. Novo vznikajúci zvar súčasne spomaľuje ochladzovanie predošlého. Tým sa režim stáva mäkkším.

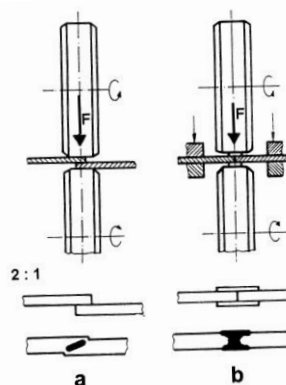
Typy zvarových spojov

Podobne ako pri bodovom zváraní sa jedná o preplátované spoje (obr. 26). Na rozdiel od bodového zvárania sa tu používajú rozvalcované alebo tupé spoje (obr. 27). Rozvalcované spoje vznikajú úzko preplátovaných plechov pri zváraní širokými kotúčmi, ktoré zvärané materiály rozvalcujú do roviny. Nevýhodou zvarového spoja nízka pevnosť v ohybe. Pri pásikových (tupých) spojoch sa používajú prídavné materiály vo forme tenkých fólií, ktoré sa zavaria do povrchov plechu. Spoje majú pri ohýbaní a lisovaní dobré plastické vlastnosti.

Hrúbka zväraných materiálov je v porovnaní s bodovým zváraním menšia (nepresahuje 3 mm).



Obr. 26 Typy švových zvarov
a – základný typ, b – zvar s rôznymi hrúbkami, c – zvar troch plechov

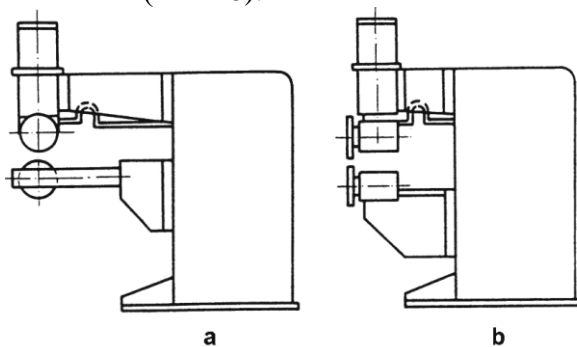


Obr. 27 Tupé spoje zhotovené švovým zvaraním
a – rozvalcovaný zvar, b – pásikový zvar,
F – prítlačná sila

Zariadenia pre švové zvaranie

Konstrukčne sú zväračky podobné zväračkám na bodové zvarovanie avšak rozdielom je umiestnenie a konštrukcia elektród. Na švové zvaranie sa používajú **kotúčové elektródy** chladené zvnútra vodou. Materiál elektród – elektrolytická meď, meď legovaná Cr. Pri otáčaní elektród je dôležité aby nedošlo k preklzávaniu zväracích elektród po zväraných materiáloch, čo by mohlo spôsobiť chyby zvaru. Najčastejšie sa používa variant s jedným poháňaným kotúčom a druhý sa iba odvaľuje. Pri náhone oboch kotúčov je potrebné použiť diferenciál.

Zväracie stroje sa používajú ako závesné hlavy, alebo ako stabilné stroje s pozdĺžnym, alebo priečnym uložením elektród (obr. 28).



Obr. 28 Švové zväračky
a – s pozdĺžnym pohybom kotúčov, b – s priečnym pohybom kotúčov,

Aplikácia švového zvarania v praxi

Švové zvaranie je vysokoproduktívnym spôsobom odporového zvarania pri výrobe dlhých (napr. obvodových) zvarov. Technológia je vhodná pre zvaranie radiátorov (napr. radiátory KORAD s produkcie U.S.Steel, Košice), pre zvaranie nádrží automobilov, kanistrov, sudov, vedier, výparníkov. V leteckom priemysle zvaranie spaľovacích komôr na kryty prúdových motorov, raketových motorov, výroba bočnic a striech vagónov, autobusov a pod.

Výstupkové zváranie

Pri výstupkovom zváraní zvarové spoje vznikajú na miestach vopred pripravených výstupkov, ktoré sa nachádzajú na jednom zo zváraných dielcov (obr. 29). Voľba výstupkov závisí od zváraného materiálu. Jeho funkciou pri zváraní je koncentrácia elektrického prúdu a prítlačnej sily pre vytvorenie zvaru. Výstupky je možné zhotoviť:

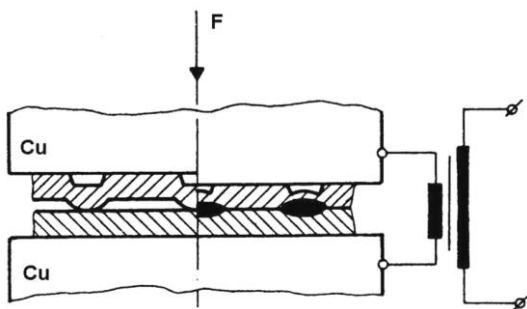
- lisovaním,
- strojným opravovaním,
- použitím medzivložiek.

Stlačením súčiastok medzi ploché elektródy alebo v prípravku a pripojením transformátora na sieť, prúd prechádza výstupkami a vytvára odporové teplo, ktoré nataví výstupky a pri príľahlú oblasť druhého dielca. Pôsobením tlaku sa takto vytvorí niekoľko spojov naraz alebo jeden súvislý zvar. časť vysokohriateho materiálu sa vytlačí zo spoja a vytvorí výronok.

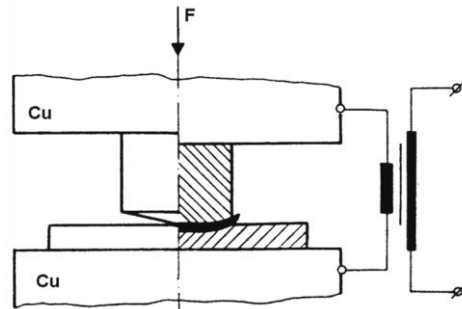
Zváranie sa realizuje na lisoch, pričom zvary sa zhotovujú medzi plochými elektródami, alebo v prípravkoch, resp. čeľustiach.

Rozlišujeme dva základne spôsoby:

- výstupkové zváranie pomocou prelisovaných výstupkov (obr. 29),
- výstupkové zváranie pomocou masívnych výstupkov (obr. 30),



Obr. 29 Výstupkové zváranie s prelisovanými výstupkami



Obr. 30 Výstupkové zváranie s masívnymi výstupkami

Výstupkové zváranie pomocou prelisovaných výstupkov sa používa pre zváranie dielcov z plechu. Výstupky sú vždy prelisované cez celú hrúbku plechu.

Výstupkové zváranie pomocou masívnych výstupkov sa používa pre zváranie masívnejších dielcov – platne, guľatiny, hranoly a pod. Najčastejšie sa používa jeden trieskovým obrábaním zhotovený výstupok. Pri zváraní vzniká okolo zvaru charakteristický prstenec (výronok), ktorý je sprievodným znakom dobrého zvaru.

Zváracie parametre

Zváracie parametre sú pri výstupkovom zváraní totožné s parametrami používanými pri odporovom bodovom zváraní. Zvárací režim môže byť mäkký a tvrdý. Parametrami zvárania sú:

prítlačná sila F ,

- zvárací prúd I ,
- zvárací čas t .

Parametre výstupkového zvarovania sa nevzťahujú na hrúbku zvarovaných dielcov, ale na veľkosť pôdorysu zvarovanej plochy. Rozhodujúca je plocha a tvar zvaru.

Prítlačná sila (F) má rovnakú funkciu ako pri bodovom zvarovaní. Pôsobí kolmo na pôdorysný priemet zvarovej plochy. Sila sa určuje z merného tlaku na 1mm^2 zvarovej plochy a od akosti zvarovaného materiálu. Pre zvarovanie ocelí sa používa prítlačná sila v rozsahu 80 až 120 MPa ($\text{N}\cdot\text{mm}^2$). Potrebná prítlačná sila sa zvaracích lisoch vyvodí mechanicky, pneumaticky alebo hydraulicky

Zvarací prúd (I) pre prierezy zvarovaných plôch do 200mm^2 je v rozsahu 200 až $500\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Pri zvarovaní veľkých prierezov prúdová hustota klesá. Pri ploche 600mm^2 je prúdová hustota menej ako $100\text{A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nesprávna voľba zvaracieho prúdu zapríčiňuje vznik technologických a štruktúrnych chýb (podrezanie, zakalenie) vo zvaroch.

Zvarací čas (t) je závislý na použitej prúdovej hustote. Pri väčších prierezoch je potrebné znižovať prúdovú hustotu a preto je potrebné pre vznik kvalitného zvarového spoja predĺžiť zvarací čas, aby sa v mieste zvaru vyvinulo teplo potrebné pre zvarovanie.

Programový priebeh zvaracích parametrov je totožný s programovým priebehom pri bodovom zvarovaní.

Pri zvarovaní sa používa pulzačný alebo svahový ohrev.

Pulzačný ohrev predstavuje mäkký režim, kde teplo vzrastá jemnejšie vplyvom prúdových prestávok a tepelne ovplyvnená oblasť sa rozširuje. Teplotný spád je menší.

Svahový ohrev spôsobuje predhrev materiálu postupným nárastom prúdu. Pri svahovom ohreve sa výstupok dotýka protikusa na začiatku procesu iba malou plochou, a preto je prúd menší. Počas zvarovania sa postupne zväčšuje plocha zvaru, čomu úmerne narastá prúd.

Oba spôsoby ohrevu sú dôležité pri kaliteľných materiáloch, pri veľkorozmerných dielcoch s vysokým odvodom tepla a hlavne pri zvarovaní nástrojových, legovaných ocelí ktoré majú zlú tepelnú vodivosť.

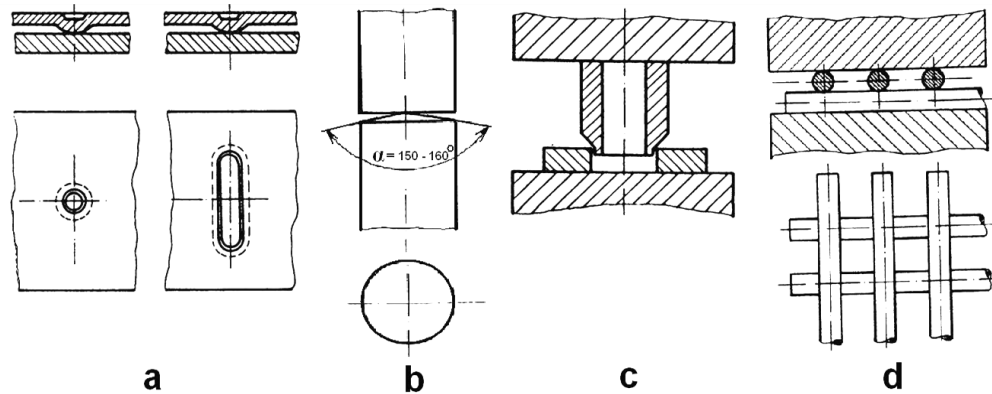
Typy a tvary spojov

Konštrukcia spojov pre výstupkové zvarovanie je odlišná ako pre bodové a švové zvarovanie.

- Preplátované spoje – spoj zhotovený preplátovaním dvoch, zriedkavejšie viacerých plechov (obr. 31a). Výstupky sa vylisujú iba do jedného plechu. V ojedinelých prípadoch striedavo do horného a spodného dielca. Výška vylisovaných výstupkov musí byť rovnaká. Výstupky prelisované na plechoch tenších ako 0,8 mm nie sú vhodné. Ich prevýšenie na plechu je nepatrné a ich funkcia problematická. Pri hrúbkach nad 6 mm vznikajú ťažkosti s prelisovaním celej hrúbky
- Tupé spoje slúžia na spájanie okrúhlych alebo hranatých profilov (tyčí, rúr) (obr. 31b). Na tieto spoje sa používajú masívne výstupky. Masívne výstupky sa zhotovujú na jednom z dielcov, majú tvar kužeľa a ich vrcholový uhol je 160° . Pri zvarovaní dielcov s rozdielnou elektrickou vodivosťou sa výstupok zhotovuje na vodivejšom materiáli. Ak sa použije bočný privod prúdu, tak sa vodivejší materiál viac vysunie z čelustí, čím sa zväčší jeho odpor, uľahčí sa jeho natavenie a zabráni sa vzniku studeného spoja.
- Kolmé spoje sú najčastejším prípadom výstupkového zvarovania (obr. 31c). Pri zvarovaní sa využívajú masívne výstupky. Vzhľadom na nesymetrický vývoj tepla je tu vysoké riziko vzniku studených spojov. Výstupok sa má zhotoviť na dielci ktorý má väčší odvod tepla. Najväčším problémom je vznik podrezania zvarového spoja, ktoré vzniká následkom

vysokej prúdovej hustoty, keď sa materiál v tvare úzkeho jemného zárezu pretaví do značnej hĺbky. Na podrezanie sú náchylné zle tepelne vodivé materiály (napr. nástrojové ocele). Pri ich zváraní je potrebné voliť mäkkší režim.

- d) Krížové spoje vznikajú prekřížením dielcov (napr. tyčí, drôtov, profilov), čím vznikajú prirodzené výstupky (obr. 31d). Ich výhodou je že výstupky nie je potrebné pripravovať, lisovaním, obrábaním a pod.



Obr. 31 Tvary výstupkových zvarov

a – preplátované spoje, b – tupý spoj, c – kolmý spoj, d – krížový spoj

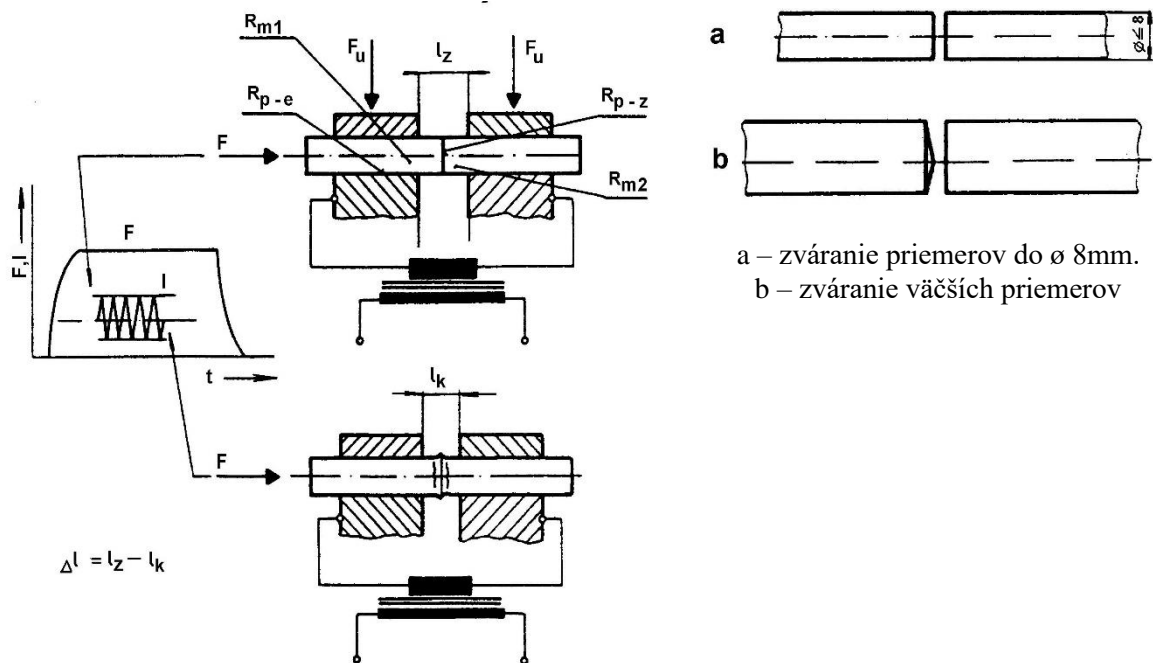
Aplikácia výstupkového zvárania v praxi

Výstupkové zváranie sa aplikuje v kusovej a malosériovej výrobe pri čelnom prívode zváracieho prúdu. Napr. dielce pre obrábacie stroje ako polotovary pre výstredníky, unášacie kotúče, variátory, ozubené kolesá, vačkové hriadele, ako náhrady výkovkov, odliatkov a obrobkov z plného kusa, resp. výrobu polotovarov z kombinovaných materiálov. Vzhľadom k vysokým nákladom zváracích zariadení je vhodné túto technológiu zvárania aplikovať najmä v sériovej a hromadnej výrobe. Napr. zváranie remeník z dvoch vylisovaných polovic, dverových a okenných závesov a v nemalej miere v automobilovom priemysle pri výrobe brzdových čeľustí a pod.

Stykové stláčacie zváranie

Stykové stláčacie zváranie je druh odporového zvárania, pri ktorom sa zvárané dielce (najčastejšie drôty alebo tyče) pritlačia k sebe čelami. (obr. 32). Pri prechode elektrického prúdu sa prednostne ohrieva oblasť styku obidvoch čelných plôch, lebo v tomto mieste je najväčší elektrický odpor. Prúd sa privádza do dielcov pomocou čeľustí - elektród. Čeľuste majú nielen funkciu elektród, ale aj mechanicky upínajú dielce, prenášajú zváraciu silu a musia zabrániť preklznutiu dielcov pri stláčaní.

Po zapnutí prúdu sa najviac ohrieva oblasť prechodového odporu R_{p-z} . Vysoko ohriaty plastický materiál sa zo zvaru vplyvom stláčacej sily čiastočne vytlačí a vytvára výronok až kým materiál nestuhne. Dielce sa pri zváraní skrátia o Δl .



Obr. 32 Odporý pri stykovom stláčacom zváraní

R_{p-e} – odpor v styku elektródových čeľustí so zvarcom, R_{p-z} – odpor vo zvare, $R_{m1,2}$ – materiálové odpory, l_z – vzdialenosť čeľustí na začiatku zvárania, l_k – vzdialenosť na konci zvárania, Δl – dĺžkové skrátenie dielcov, F - zváracia sila, F_u – upínacia sila, I – prúd, t – čas.

Odporý vo zvarovej oblasti.

Pri zváraní zohráva rozhodujúcu úlohu prechodový odpor v mieste spoja R_{p-z} . Prechodové odpory R_{p-e} v mieste styku elektród (čeľustí) s dielcami sú podstatne menšie, preto je tu pomerne malý vznik tepla a toto teplo ku vzniku zvaru prakticky neprispieva. Čo umožňuje zváranie medených materiálov, avšak za predpokladu použitia veľmi tvrdého zváracieho režimu.

Rovnováha materiálových odporov R_m je dôležitá pri zváraní rôznorodých materiálov (napr. ocelí triedy 11+19, alebo pri zváraní Cu+Al). Zvárač zväčší odpor vodivejšieho materiálu tým, že ho viac vysunie z čeľustí. Tým sa napomôže roztaveniu vodivejšieho materiálu a predíde sa tzv. studenému spoju (keď jeden materiál je už natavený a druhý ešte nie je).

Zváracie parametre

Zváracími parametramy sú rovnako ako pri bodovom a výstupkovom zváraní: sila, prúd a čas. Aj ich špecifické - merné hodnoty (ktoré sa vzťahujú na 1 mm^2 zvaru) sú podobné ako pri bodovom a výstupkovom zváraní.

Zvárací režim môže byť mäkký a tvrdý.

Pri mäkkom režime nemusí dôjsť k úplnému, ale ani k čiastočnému nataveniu čelných plôch. Ide o určitú obdobu "kovárskeho" zvárania, keď sa materiál zvara v plastickom stave. Aj výronok pri tomto veľmi mäkkom režime má značne odlišný charakter. Výronok pri zváraní tvrdým režimom je ostrý.

Za zvärací parameter považujeme iba **zväraciu silu F**. Upínacia sila F_u nie je parametrom zvärania. Jej funkciou je zabezpečiť dobrý elektrický kontakt a zabrániť preklznutiu pri stláčaní (upínacia sila býva zvyčajne dvojnásobkom prítlačnej sily).

Dôležitú úlohu pri zväraní zohráva **dĺžka vysunutia** zväraných komponentov z čeľustí: $l_z/2$ (obr.4.41). Príliš veľké vysunutie spôsobuje zbytočný ohrev (veľké tepelné straty) a deformáciu. Malé vysunutie môže byť príčinou malého ohrevu, a teda i studeného spoja. Pri zväraní plných kruhových prierezov sa dĺžka vysunutia pohybuje asi od 0,5 do 1,5 násobku priemeru.

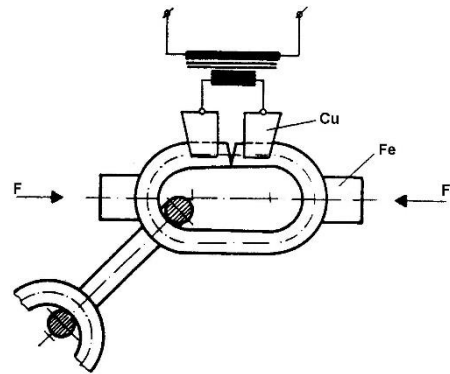
Pokiaľ ide o nastavenie **zväracieho času**, tak pri jednoduchých a lacných zväračkách jestvuje určité zjednodušenie. Jeho podstata spočíva v tom, že pri použití rovnakých materiálov, rovnakých rozmerov, rovnakých parametrov atď. bude dĺžka stlačenia Δl (obr. 32) prakticky rovnaká.

Pri stykovom stláčacom zväraní sa zväčša používa program s konštantným priebehom sily a prúdu. Programový priebeh so zmenou sily a prúdu je zriedkavejší.

Typy a tvary spojov

Prevažne ide o tupé spoje (obr. 33). Iné typy, napr. kolmé, sú zriedkavé. Určitú zvláštnosť tvoria spoje pri zväraní reťazových článkov. Kolmo odrezaný drôt vytvorí po stočení prirodzený výstupok v tvare "V", ktorý napomôže vzniku spoja.

Najmenšie zväračky sú schopné zvärať drôty priemeru 0,2 mm, niekedy i menej. Pokiaľ ide o maximálne prierezy, platí tu približne rovnaká hranica ako pre výstupkové zväranie - cca 600 mm². Zväračky na zväranie ráfov pre automobilové kolesá (napájané jednosmerným prúdom) túto hranicu prevyšujú.



Obr. 33 Zväranie článkov reťazi

Aplikácia stykového stláčacieho zvärania

V praxi sa táto technológia uplatňuje pri nadpojovaní drôtov v drôtoťahoch (ocelové, medené, ale i iné materiály). Nadpájajú sa odrezky z betonárskej ocele, čím sa znižuje jej odpad. Pri výrobe reťazí, ráfikov bicyklových a automobilových kolies.

Navzájom sa zvärajú konce pílových pásov pre okružné píly. Ojedinele sa tento spôsob používa pri predlžovaní výstružníkov, vrtákov, skrutiek a pod.

Stykové odtavovacie zväranie

Odporové zväranie dielcov vo vodorovne umiestnených čeľustiach, kde proces zvärania prebieha pri priblížení sa čelných plôch zväraných dielcov. Odtavovacie zväranie potom môže prebehnúť ako priame alebo nepriame (s predhrevom).

Priame odtavovacie zvaranie.

Po pripojení transformátora na sieť zvarací proces ešte nezačne. Medzi dielcami je medzera, uzavretie zvaracieho okruhu nie je možné, lebo zvaracie napätie je príliš nízke (napr. 3 až 5 V), takže elektrický oblúk nemôže vzniknúť. Dielce sa potom začnú približovať veľmi malou rýchlosťou (rádovo $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$). Proces ohrev začne až vtedy, keď sa čelá dielcov dotknú v jednom alebo viacerých miestach. Sila stlačenia je minimálna, blíži sa k nule, dotyk preto nikdy nemôže nastať na celej ploche. Dotykom vzniknú prúdové mostíky. Vzhľadom na minimálnu silu bude prechodový odpor medzi dielcami R_{p-z} mimoriadne veľký a pretekajúci prúd bude malý. Materiál sa v mieste dotyku prudko nataví a časť roztaveného kovu vystrekne. Výstreky predstavujú malú erupciu a v mieste bývalého mostíka vznikne kráter. Na jeho dne však zostane tenká vrstva roztaveného kovu.

Rozrušením prúdového mostíka vznikne medzi dielcami medzera. Dielce sa ale naďalej približujú, takže vzápätí vznikajú nové dotyky, nové prúdové mostíky a celý dej sa opakuje. Postupne na čelách súčiastok súčasne vznikajú, existujú a zanikajú až niekoľko desiatok takýchto mostíkov. Ich životnosť trvá iba zlomky sekundy.

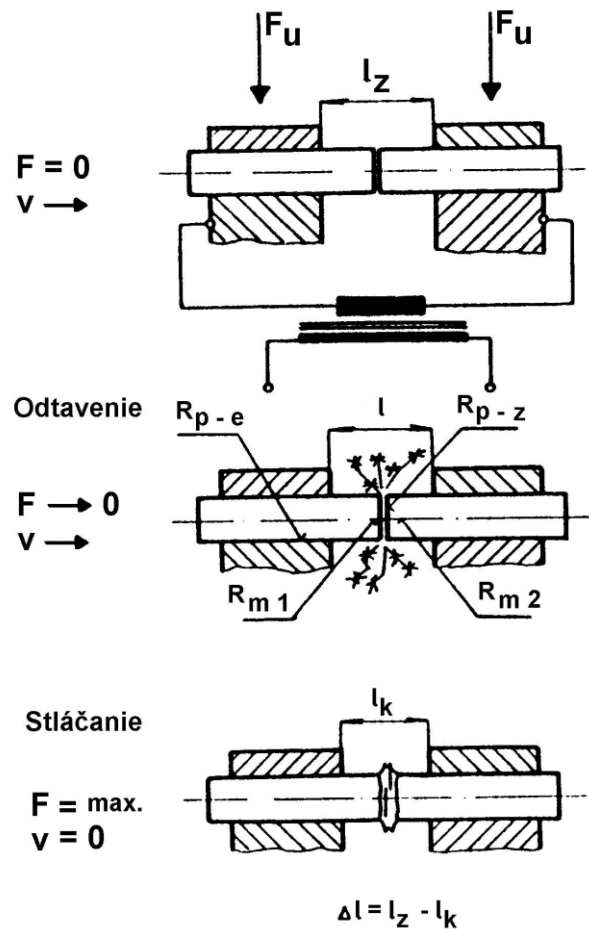
Takto, napriek neustálemu približovaniu dielce do seba nenarazia a pri dostatočnom elektrickom výkone sa stačí odtaviť všetok materiál, ktorý príde do vzájomného styku.

Čelá dielcov sa postupujúcim odtavovaním stále viac ohrievajú a pokrývajú sa vrstvou roztaveného kovu. Oba dielce musia byť pritom zahriate do potrebnej hĺbky. Táto fáza, ktorá sa nazýva odtavovanie, trvá sekundy až desiatky sekúnd.

Potom nasleduje druhá fáza - stlačenie. Dielce sa navzájom stlačia a prúd sa vzápätí vypne. Roztavený kov oboch čelných plôch za spolupôsobenia sily vytvorí zvar. Súčasne sa časť vysokoohriateho materiálu vytlačí zo zvaru a vytvorí výronok vytvorený čiastočne oxidovaným kovom, ktorý sa má po zvaraní odstrániť.

Odtavovacie zvaranie s predhrevom

Proces je totožný s predchádzajúcim procesom, ale pred začiatok odtavovacej fázy zavedieme ešte predhrev plameňom, indukčne alebo najčastejšie prerušovanými skratmi zvaracieho transformátora. Predhrev môže mať dva podstatné dôvody:



Obr. 34 Stykové odtavovacie zvaranie
 R_{p-e} a R_{p-z} – prechodové odpory,
 $R_{m1,2}$ – materiálové odpory, l_z – vzdialenosť
čelústí na začiatku zvarania, l_k – vzdialenosť
na konci zvarania, Δl – dĺžkové skrátenie
dielcov, F – zvaracia sila, F_u – upínacia sila,
 v – odtavovacia rýchlosť,

- a) technologický - napomáha štartu a priebehu odtavovacej fázy a súčasne predchádza prípadnému zakaleniu,
- b) energetický - znižuje v priebehu odtavovania potrebný výkon. Pri nedostatku energie by sa proces odtavovania "zadusil". Dielce by pri približovaní do seba narazili, ale nedostatočne ohriaty kov by nevystrekol. Materiál by sa iba žeravil, ale neodtavoval by sa. Možnosť zvrátať väčšie prierezy.

Odtavovacie zváranie s predhrevom má tri fázy:

- predhrev,
- odtavenie,
- stlačenie.

Pri odtavovacom zváraní (priamom alebo s predhrevom) nastáva dĺžkový úbytok materiálu - skrátenie dielcov.

Krátery pri výbuchu mostíka sú tým hlbšie, čím je vyššie zváracie napätie. Príliš vysoké napätie nie je žiaduce. Hlboké krátery zapríčinia pri približovaní oneskorený vznik nového prúdového mostíka, a tým krátkodobé prerušenie odtavovania.

Zanikajúce mostíky predstavujú rozpojenie elektrického obvodu. Okolo prúdových mostíkov existujú magnetické polia. Ich rýchlym prerušením sa indukuje relatívne vysoké napätie (elektromotorická sila). Týmto síce môžu vzniknúť oblúky, ale k ohrevu podstatnejšie neprispievajú. Oblúk je tu teda viazaný na zánik existencie prúdového mostíka a nie na vznik alebo jeho trvanie.

Odpor vo zvarovej oblasti.

Aj tu treba konštatovať podstatný rozdiel voči predchádzajúcim spôsobom odporového zvárania, menovite voči stykovému stláčaciemu zváraníu.

Hlavné rozdiely a dôsledky vyplývajú z rozdielných prechodových odporov vo zvare:

Odpor R_{p-z} pri odtavovacom zváraní je podstatne väčší, lebo zváracia sila počas odtavovacej fázy je minimálna:

$$R_{p-z}(\text{odtavovanie}) > R_{p-z}(\text{stláčanie})$$

Pretože pri odtavovacom i pri stláčacom spôsobe používame podobné napätie, je veľký rozdiel vo zváracom prúde (Ohmov zákon: $I = U/R$):

$$I(\text{odtavovanie}) < I(\text{stláčanie})$$

Prírodným dôsledkom je, že pri rovnakom výkone transformátora zvaríme odtavovacím spôsobom podstatne väčšie prierezy - s:

$$s(\text{odtavovanie}) > s(\text{stláčanie})$$

Táto výhoda ide však na vrub oveľa dlhších zváracích časov (Joulov zákon: $Q = R \cdot I^2 \cdot t$)

:

$$t(\text{odtavovanie}) > t(\text{stláčanie})$$

Prívodové plochy zváraných dielcov pod čeľusťami musia zabezpečiť kontakt, a tým prívodu prúdu. Ide o miesta, kde vzniká prechodový odpor R_{p-e} , ktorý je tu mnohonásobne menší než prechodový odpor R_{p-z} .

Zváracie parametre

Základnými parametrami stykového dotavovacieho zvárania sú: zvárací prúd, prítlačná sila, zvárací čas, dĺžka a rýchlosť odtavenia.

Zvárací prúd sa reguluje zmenou sekundárneho napätia. Pri odtavovaní sa používa iba $25 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ zváraného prierezu. (Pri bodovom zváraní až $500 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$). Je to dôsledok veľkého prechodového odporu vo zvare: R_{p-z} .

Prítlačná sila je počas odtavovania minimálna. Do plnej funkcie vstupuje až vo fáze stlačenia, kedy má rozhodujúci vplyv na akosť zvarového spoja. Čiastočne vytláča roztavený kov a plasticky deformuje nahriaty kov. Vtedy má merné (špecifické) hodnoty podobné ako predchádzajúce spôsoby odporového zvárania - napr. $100 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Optimalizáciou prítlačnej sily sa zabráni vzniku studených spojov (pri vysokej prítlačnej sile) a zabráni sa oxidácii povrchov a ich uzatvoreniu vo zvarovom spoji (pri nízkej prítlačnej sile)

Čas ako tretí parameter pri odtavovanom zváraní je nahradený dvoma "zastupujúcimi" parametrami: odtavovacou rýchlosťou - v ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$) a dĺžkou odtavenia - Δl (mm). (Dĺžka odtavenia podľa obr. 1 je určitým zjednodušením: $\Delta l = l_z - l_k$.)

Dĺžka odtavenia je vlastne dĺžkový úbytok materiálu počas odtavovacej fázy, kedy vzniká rozhodujúci ohrev pre vznik zvaru. Odtavená dĺžka materiálu má zabezpečiť potrebné a rovnomerné nahriatie dielcov do určitej hĺbky, ale aj pokrytie ich čelných plôch súvislou vrstvou roztaveného kovu. Pri malej dĺžke odtavenia (čiže pri krátkom zvaracom čase) by materiál nebol dostatočne nahriaty a vznikol by studený spoj. Naopak príliš veľká dĺžka odtavenia spôsobuje zbytočné prehrievanie a stratu energie aj materiálu. Jej hodnota závisí najmä od kvality materiálu, veľkosti prierezu, ale aj od jeho tvaru. Dĺžka odtavenia pri priamom odtavení je väčšia než pri odtavovanom zváraní s predhrevom. Vtedy je materiál už čiastočne predhriaty, takže postačuje menšia dĺžka na požadovanú zvaraciu teplotu.

Rýchlosť odtavenia. Tento parameter má rozhodujúci vplyv na kvalitu spoja. Odtavovacia rýchlosť by mala zodpovedať zváranému materiálu, jeho prierezu, nastavenému výkonu, okamžitej teplote čela zváraných dielcov atď. Táto rýchlosť však nemusí byť v súlade s tou približovacou rýchlosťou čel'ustí.

Ak je približovacia rýchlosť väčšia než zodpovedá požiadavkám na odtavovanie. Dielce do seba narazia, materiál sa nestačí odtavovať, dochádza iba k jeho žeraveniu.

Ak je približovacia rýchlosť menšia než zodpovedá požiadavkám. Po každom výbuchu (rozrušení) prúdových mostíkov nastane relatívne dlhá prestávka, kým sa dielce znova dostanú do kontaktu. Vtedy môže do zvaru vniknúť vzduch a zoxidovať ho. Tento úkaz zhoršuje zbytočne vysoké zvaracie napätie (vznik hlbokých kráterov a predlžovanie času do nového dotyku). Krátke prestávky zabraňujú oxidácii, odstrekujúci kov a kovové pary chránia zvar.

Odtavovacia rýchlosť sa pohybuje v rozmedzí $0,25 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (pre malé prierezy) až $6 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (pre veľké prierezy).

Ďalšie faktory vplývajúce na kvalitu zvaru:

Predhrev sa zásadne nepoužíva pri zváraní vysokovodivých zliatin (Cu) a pri zváraní tenkostenných prierezov, lebo prehriatie materiálu by spôsobilo deformáciu dielcov.

Rýchlosť stláčania. Odporové zváranie je tepelno-deformačný proces. Pri deformácii však záleží nielen na stláčacej sile, ale aj na rýchlosti jej pôsobenia. Vo zvýšenej miere to platí o stláčacej fáze odtavovacieho zvárania. Prechod z odtavovacej do stláčacej fázy musí byť razantný, stláčanie musí mať potrebnú rýchlosť.

Pri pomalej rýchlosti stláčania vzniká nebezpečenstvo vniknutia vzduchu do zvaru, oxidy a prípadné nečistoty usadené na dne kráterov sa nevytláčajú, na stláčaných čelách zváraných prierezov zostane nerovnako hrubá vrstva roztaveného kovu a jednotlivé oblasti zvarového prierezu budú mať rozdielnu akosť, a tým aj rozdielne vlastnosti. Rýchlosť stláčania sa pri zváraní pohybuje v rozsahu od $30 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ až $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dĺžka stlačenia je udávaná výrobcom zvaracích zariadení pre konkrétny typ zvaračky, alebo experimentálne zisťovaná pri zvaraní konkrétneho výrobku.

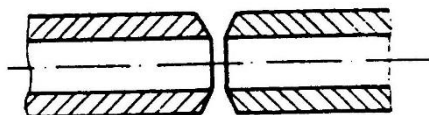
Pri zvaraní dielcov veľkej hmotnosti (napr. koľajníc) by teoreticky správna stlačacia sila zabezpečila požadovanú deformáciu, ale nebola by schopná zabezpečiť potrebné zrýchlenie pri prechode z odtavovacej fázy do stlačacej ($F = m \cdot a$). Rýchlosť stlačania by bola malá.

Pri stláčaní sa preto použije podstatne väčšia stlačacia sila. Aby však použitá veľká sila nespôsobila nežiaducu deformáciu, tak vopred stanovená optimálna dĺžka stlačenia sa zabezpečí mechanickým dôrazom alebo iným systémom.

Vyloženie z čel'ustí (alebo veľkosť vysunutia: $l_z/2$ - obr. 34) vplýva na veľkosť materiálových odporov R_m . Hodnoty sú uvádzané v tabuľkách od výrobcu.

Dĺžkové úbytky Pri zvaraní treba počítať so skrátením materiálu pri predhreve (ak sa použije), pri odtavení a pri stlačení.

Zhotovenie úkosov uľahčuje naštartovanie odtavovania, jeho začiatok začína na menšom priereze, preto je potrebný aj menší výkon (obr. 35). Odtavením úkosov sa prierez síce zväčší, ale čelá sú už nahriate, takže nároky na výkon sa tým kompenzujú.



Obr. 35 Úprava zvarových hrán

Typy a tvary spojov

Podobne ako pri stykovom stlačacom zvaraní, aj tu sa prevažne používajú tupé spoje. Zásadný rozdiel je však vo veľkosti prierezov. Zvarajú sa dielce z plných alebo dutých kruhových i hranatých prierezov. Pokiaľ zvarané dielce nemajú rovnaký prierez, je výhodné ich aspoň čiastočne prispôbiť. Dosiahne sa tým rovnomernejšia teplota.

Podľa už spomenutých poznatkov sa na čelách niekedy pripravujú úkosy. Ak je dĺžka odtavenia dostatočne veľká, toleruje sa aj menšia nepresnosť v úprave čiel (nemusia byť ideálne kolmé).

Okrem hlavnej skupiny tupých spojov sa používajú aj kolmé alebo šikmé spoje.

Zvaracie stroje

Stykové odtavovacie zvaračky majú v porovnaní so stlačacími zvaračkami masívnejšiu konštrukciu. Ovládanie čel'ustí je elektromechanické, pneumatické alebo hydraulické. Zvarací režim je programovateľný.

Vysokofrekvenčné zvaranie

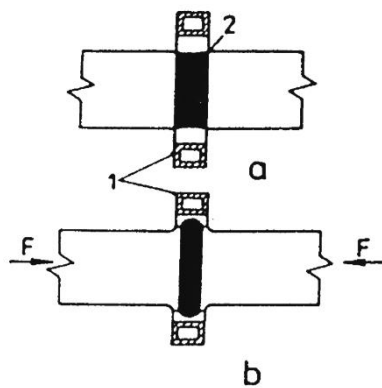
Vysokofrekvenčné zvaranie /VF/ je špeciálnym druhom odporového zvarania. Keďže sa jedná o tavno-tlakový spôsob zvarania, teplo potrebné pre zvaranie sa vyvíja pri prechode elektrického prúdu vo zvaranom materiáli, čím dochádza k nataveniu zvarových hrán a zvarový spoj vzniká pri spolupôsobení prítlačnej sily ktorá zvarové hrany spoji. Pri zvaraní sa využíva elektromagnetická indukcia a ďalšie javy, z ktorých je známy napr. povrchový tzv. (skin) efekt. Jeho podstata je v nerovnomernom rozdelení striedavého prúdu po priereze

vodiča. Najvyššia hustota prúdu sa nachádza pri vonkajšom povrchu vodiča. Čím je vyššia frekvencia prúdu, tým rýchlejšie sa zväčšuje hustota prúdu smerom k povrchu vodiča. Technológie vysokofrekvenčného /VF/ zvarovania:

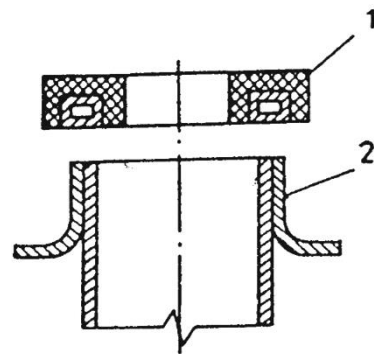
- bez natavenia /tlakom za tepla/
- s natavením.

Zváranie tlakom bez natavenia (obr. 36) – Ohrev materiálu je iba na nižšiu teplotu, ako je bod tavenia. Zváranie sa dosahuje vyššou deformáciou, ktorá rozruší oxidy a vytlačí ich zo zvarového spoja. Stlačenie 2,5 až 6mm.

Tavné zvarovanie bez stláčania (obr. 37) – Miesto zvaru sa ohrieva na taviacu teplotu materiálu. Odporúča sa na zváranie materiálov s hrúbkou steny 0,3 až 1,5 mm /nízkouhlíkové ocele, CrNi austenitické ocele, Ti zliatiny a niektoré kombinácie kovov. Frekvencia 70 až 440 kHz a rýchlosť ohrevu 250 až 8000°C.s⁻¹/.



Obr. 36 Schéma procesu zvarovania bez natavenia zvaraných hrán
a – stav počas procesu zvarovania,
b – stav po zvaraní
1 – induktor, 2 – zvarané materiáli,
F – prítlačná sila



Obr. 37 Schéma procesu zvarovania bez stláčania
1 – induktor, 2 – zvarané materiáli,

Vysokofrekvenčný prúd – cca 450 kHz sa privádza:

- kontaktne (klzný, kladkový prívod) (obr. 38),
- bezkontaktne (induktorom) (obr. 39)

Parametre VF zvarovania

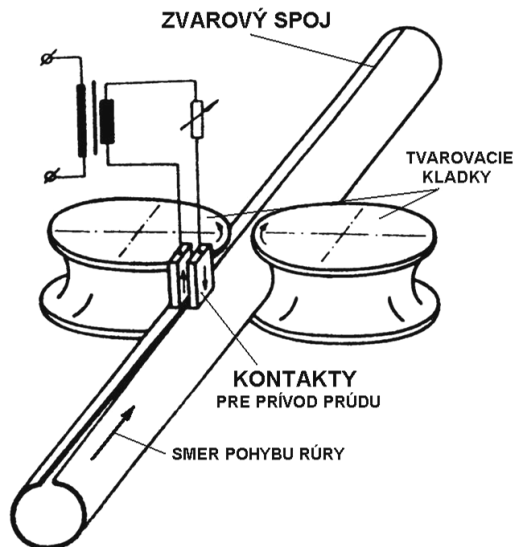
- rýchlosť zvarovania v_{zv} (až 60m/min) ,
- výkon P,
- frekvencia f (10 až 500kHz).

Vysokofrekvenčné zvarovanie je charakterizované vysokým stupňom lokalizácie energie a možnosťou zmeny parametrov v širokom rozsahu.

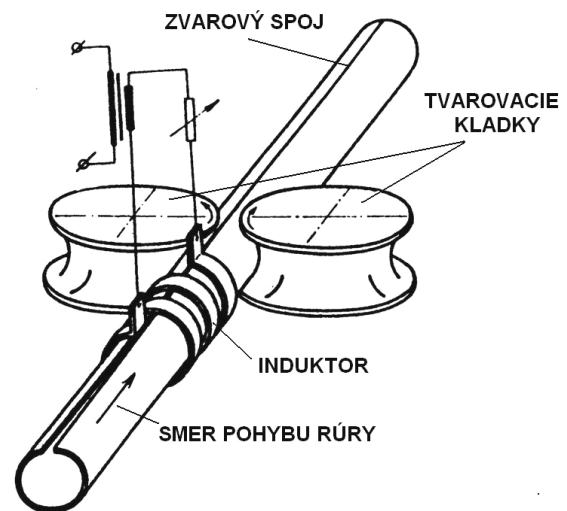
Hĺbka prieniku prúdu, a tým aj hĺbka ohrevu závisí od prúdovej frekvencie, od vodivosti a magnetickej permeability zvaraného materiálu

Výhodami technológie sú: vysoká produktivita (pri výrobe tenkostenných rúr 60m/min), vysoká kvalita zvarových spojov, možnosť automatizácie procesu zvarovania, jednoduchosť a spoľahlivosť induktorov.

K nevýhodám patrí obmedzenie použiteľnosti technológie pre zvarovanie menších hrúbok materiálov a vysoká energetická náročnosť procesu.



Obr. 38 VF zvarovanie rúr s prívodom prúdu klznými kontaktmi



Obr. 39 Indukčné VF bezkontaktné zvarovanie rúrok

Zváracie zariadenia

Pre VF zvarovanie sa používajú jednoúčelové automatizované zariadenia.

Aplikácia vysokofrekvenčného zvarovania

Vysokofrekvenčné zvarovanie sa uplatňuje pri výrobe priamych a špirálových rúr do priemeru \varnothing 52 mm - (v súčasnosti aplikované v železiarňach Podbrezová), pri výrobe uzavretých profilov, v automobilovej výrobe pri zvaraní ráfikov pre osobné automobily.