

# ELEKTRICKÉ SVAŘOVÁNÍ

Svařování je z hlediska strojírenské technologie spojování kovových materiálů stejného nebo přibližně stejného materiálu v nedělitelný celek. Kovy lze svařovat teplem elektrického oblouku nebo Jouleovým teplem při odporovém svařování .

Základní dělení elektrického svařování:

- svařování tavné elektrickým obloukem
  - elektrostruskové
  - v ochranné atmosféře
  - pod tavidlem
  - ruční holou nebo obalenou elektrodou
  
- svařování odporové
  - na tupo
  - bodové
  - švové
  - bradavkové

Při svařování elektrickým obloukem vzniká elektrický oblouk mezi dvěma elektrodami, připojenými na zdroj stejnosměrného nebo střídavého proudu. Přitom jednou elektrodou je obvykle svařovaný předmět a druhá elektroda má tvar tyčky. Tato tyčová elektroda je buď z materiálu, který se netaví (uhlík, wolfram) a nebo je tvořena přídavným materiálem a při svařování se odtavuje.

Odtavné elektrody pro ruční svařování mají normalizované rozměry o průměru drátu nejčastěji 2,5 až 6 mm a délky 450 mm a jsou buď holé, nebo obalené látkou, tvořící při svařování strusku. Pro automatické svařování se obvykle užívají elektrody z holého drátu, odvíjeného z bubnu.

Při ručním svařování se elektroda upíná do držáku, který je spojen ohebným kabelem se zdrojem proudu, druhý pól je připojen zemnicí svorkou na svařovaný předmět.

Automatické svařovací zařízení usnadňuje práci a zlepšuje jakost svaru. Podávání elektrody do svaru i posuv ve směru svaru jsou mechanizovány, a to obvykle tak, že rychlost podávání je automaticky regulována na konstantní svařovací výkon a posuv vozíku je stálou nastavitelnou rychlostí.

## 1. Svařovací oblouk

Zapálení elektrického oblouku dotykem je nejvíce používaný způsob ve svařovací technice, zvláště při svařování ručními elektrodami. Na přechodovém odporu vznikne zkratovým proudem za čas kolem 50 ms velké množství tepla a při oddálení elektrody se vytvoří rozžhavené ionizované páry kovu. Katoda dosáhne takové teploty, že je schopna emise elektronů. K podpoře zapálení oblouku přispívá i další jev, mající charakter ionizace elektrickým polem. Při rychlém odtržení elektrody z místa dotyku zrychlením  $a$ , je maximální intenzita elektrického pole podle výrazu

$$E_{\max} = \frac{3 \cdot 10^8 U_0}{\sqrt{R^2 S^2 a}} \quad (1)$$

kde je  $U_0$  ...napětí svařovacího oblouku, zpravidla  $U_0 = 50$  V,

$R$  ...odpor dotyku, kolem  $1 \Omega$ ,

$S$  ...plocha dotyku, například  $S = 10^{-6} \text{ cm}^2$ ,

$a$  ...zrychlení při oddálení elektrody - asi  $a = 1,0 \cdot 10^6 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$

Při dosazení uvedených hodnot do uvedeného vztahu vychází maximální intenzita elektrického pole  $E_{\max} = 1,5 \cdot 10^2 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

Je to značně velká hodnota, která výrazně podpoří vznik ionizace a usnadní zapálení oblouku. Elektroda bývá zpravidla připojena na záporný pól zdroje. Elektrony přecházející z rozžhaveného konce svařovací elektrody přes oblouk do místa sváru. V opačném případě přecházejí elektrony opačným směrem. U elektrického oblouku se anodě vytváří více tepla, než je tomu na katodě.

V praxi se kromě svařování stejnosměrným proudem svařuje i střídavým proudem. V tomto případě se polarita na elektrodách mění a aby oblouk při svařování nezhasínal, ale hořel nepřetržitě, musí být ve svařovacím obvodu nejen činný odpor, ale i indukčnost. Ta zajistí potřebnou stabilitu hoření (např. rozptyl magnetického obvodu transformátorů, vřazená tlumivka). Teplota oblouku se pohybuje v rozmezí od 3 500 °C do 5 000 °C a postačí i na svařování materiálů s vysokým bodem tavení.

## 2. Zdroje svařovacího proudu.

Zdrojem svařovacího proudu jsou svářečky, které dávají napětí a proud vhodné pro svařování. Střídavé svářečky jsou transformátory, jejichž charakteristika odpovídá požadavkům svařování. Aby oblouk stále hořel, je nutné dosáhnout vhodného posunutí napětí vzhledem k proudu buď tlumivkou zařazenou v sérii, nebo konstrukcí transformátoru s velkou rozptylovou indukčností. Stejnosměrné svářečky jsou buď speciální rotační soustrojí, složené z poháněcího asynchronního motoru a z dynama, které je zdrojem svařovacího proudu. Nejnověji se používají polovodičové svářečky, u nichž se střídavý proud usměrňuje křemíkovými diodami nebo tyristory. Jejich předností je bezhlučný chod a podstatně menší spotřeba elektrické energie, neboť mají větší účinnost a chod naprázdno je téměř bezztrátový.

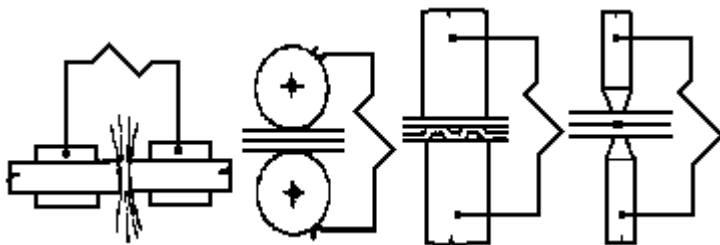
## 3. Odporové svařování

Při odporovém svařování se využívá teplo, které vznikne na pracovním odporu ve styku dvou svařovaných částí. Tento pracovní odpor se během svařování značně mění a závisí na teplotě v místě styku a na tlaku, kterým jsou obě součásti k sobě přitlačovány. Teplota v místě svaru se rychle zvyšuje, a proto je i rychlost odporového svařování velká. Důležité je, aby elektrody přivádějící proud měly se svařovanou součástí dobrý styk s co nejmenším odporem a aby byly zhotoveny z dobře vodivého materiálu (obvykle z čisté mědi nebo jejich slitin). Příklady bývají chlazené protékající vodou.

Podle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovního postupu rozdělujeme odporové svařování na:

- bodové, spoje se vytvářejí v podobě svarových čoček mezi přeplátovanými dílci
- švové, spoj se vytváří kotoučovými elektrodami ve tvaru souvislého sváru většinou mezi přeplátovanými dílci
- bradavkové spoje se vytvářejí na místech styku přirozených nebo záměrně vytvořených výstupků
- na tupo (stykové) svařované dílce jsou přitlačovány ve styčných plochách a svařují se po celé styčné ploše.

Tyto čtyři základní druhy odporového svařování jsou schematicky znázorněny na Obr.1.



Obr. 1 Základní druhy odporového svařování

Typické vlastnosti tohoto způsobu svařování jsou:

- rychlost svařování (rychlost ohřevu je až  $10^5 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ ,
- vytváření spojů bez použití přídavného materiálu,
- svařování některých materiálů jinými způsoby nesvařitelnými.

Celkové množství tepla vyvinutého mezi elektrodami za čas  $t$  je podle Jouleova zákona

$$Q = \int_0^t R \cdot I^2 dt \quad (2)$$

kde  $R$  je celkový činný odpor mezi elektrodami (pracovní odpor)

$I$  je proud protékající tímto odporem

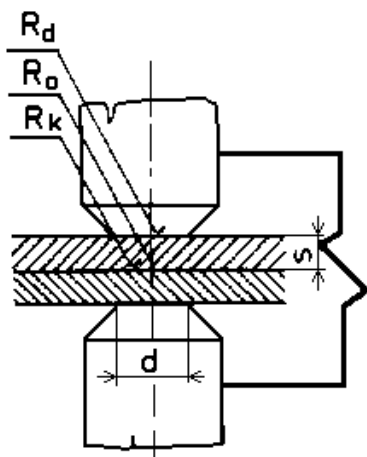
Odpor materiálu mezi elektrodami závisí na rozměrech vodiče, směru průchodu proudu a měrném odporu materiálu, který je silně teplotně závislý. Na Obr.2 je principiální schéma bodového sváru. Mezi dvěma kruhovými elektrodami je odpor vyjádřitelný rovnicí

$$R_o = \frac{4 \cdot x \cdot \rho \cdot s}{\pi \cdot d^2} \quad (3)$$

kde  $x$  je součinitel zmenšení odporu proti odporu válce,  $x = f(d/s)$ ,

$\rho$  je měrný odpor materiálu,

$s$  je tloušťka svařovaných prvků



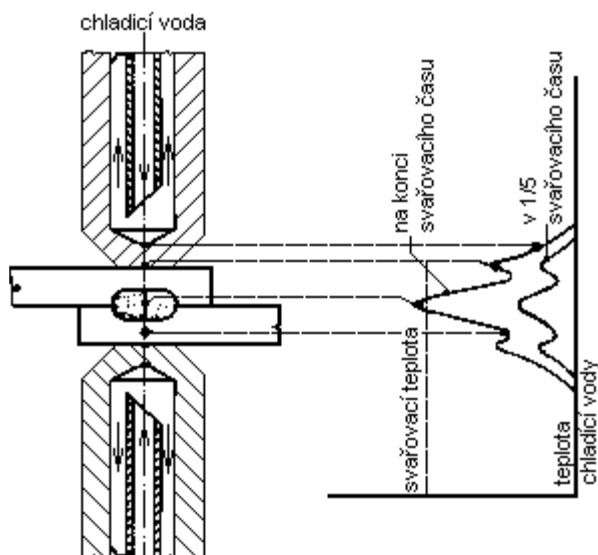
Obr.2 Složky odporu při bodovém svařování

Pracovní odpor bude tedy záviset na geometrickém tvaru proudové cesty a jeho výsledná hodnota (viz. Obr.2) bude dána rovnicí:

$$R = 2 R_d + R_k + 2 R_o \quad (4)$$

Celková energie vzniklá při bodovém svařování bude dána vztahem

$$Q = (2R_d + R_k + 2R_o) I^2 \cdot dt \quad (5)$$



Obr. 3 Průběh teploty při vzniku bodového sváru

Na Obr.3 je znázorněn průběh teploty při vzniku bodového sváru, jestliže jsou správné poměry jednotlivých složek elektrického odporu podle Obr.2 a vhodně uspořádané chlazení elektrodových špiček. Je-li však svařovaný materiál znečištěn, deformován nebo jsou-li voleny nesprávné svařovací tlaky, může se většina tepla při svařování vyvíjet v jiném místě a tak se vytvoří nedokonalý svár. Při bodovém svařování je nutné zvolit takový proud, který vychází ze základní proudové hustoty a kontaktní plochy elektrody. Pro orientační výpočet stačí použít empirického vztahu, který určuje svařovací proud v poměru k tloušťce jednoho svařovacího plechu  $s$ .

$$I_s = 6\,500\,s \quad (6)$$

#### 4. Napájecí transformátory

Odporové svařování vyžaduje proudy od 1 - 300 kA při napětí 0,5 - 3,0 V na elektrodách. Proudů těchto hodnot získáváme od svařovacích transformátorů, povětšinou jednofázových. Běžné transformátory mají jmenovité hodnoty 230 V, 400 V, 50 Hz na primární straně a 1-18 V na straně sekundární.

Sekundární strana transformátoru je povětšinou tvořena jedním závitem, při napětích na 15 V se dvěma závity v sérii. Závit je zhotoven z měděného odlitku (měděný profilový vodič), který je během provozu chlazen vodou. Regulace svařovacího proudu se obvykle provádí odbočkami na primární straně s přepínáním bez zatížení.

Taktování energie do sváru je prováděno s vysokou přesností a reprodukovatelností. Používá se nadproudového relé, které ovládá výkonový stykač nebo časové relé s možností nastavit dobu sváru od 0,01 - 4 s přesností pod 10 %.