



Spolufinancované z  
programu Európskej únie  
Erasmus+



Erasmus+

# MODUL H

## Zváranie elektrickým oblúkom

Podstata elektrického oblúka



## Podstata elektrického oblúka

- Zváranie elektrickým oblúkom je veľmi rozšírený spôsob zvárania, v podstate sa jedná o elektrický výboj v plynoch.
- Podstatou zvárania je zmena elektrickej energie na tepelnú energiu, na zváranie je nutná veľká intenzita prúdu až 2000 A, avšak zváracie napätie je veľmi malé, do 50 V.



## Podstata elektrického oblúka

- Elektrický oblúk vznikne za predpokladu, že napätie medzi elektródou a materiálom je vyššie ako ionizačné napätie plynu pri dostatočnej prúdovej hustote a trvalý elektrický výboj nastane, keď vznikajúce teplo zabezpečí ohriatie plynu na teplotu potrebnú pre tepelnú ionizáciu obklopujúcej atmosféry.

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. 32.



## Podstata elektrického oblúka

- Podľa zvolenej technológie je možné meniť výkon elektrického oblúka, jeho tvar, či jeho teplotu.
- Možnosti zvárania:
  - a) zváranie taviacou sa kovovou elektródou (ručné zváranie obalenými elektródami, zváranie MOG, zváranie pod tavidlom, zváranie v ochranných atmosférach MIG / MAG),
  - b) zváranie netaviacou sa volfrámovou elektródou (zváranie v ochrane plynu WIG).

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. 32.



## Podstata elektrického oblúka

- Fyzikálne a metalurgické deje prebiehajú v oblúku veľmi rýchlo, za vysokých teplôt a sú ovplyvňované:
  - a) geometrickým usporiadaním, polaritou a tvarom elektród,
  - b) chemickým zložením elektród, plazmy a okolitej atmosféry,
  - c) tepelnou vodivosťou plazmy, elektródy a základného materiálu.

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. 32.



# Charakteristiky elektrického oblúka

- Zapálenie oblúka
- Pri napätí zdroja nakrátko je napätie vyššie než pri stálom horení oblúka.
- Prvotné zapálenie elektrického oblúka je možné uskutočniť:
  - Krátkodobým spojením (dotykom) elektródy so základným materiálom a následným rozpojením.
  - Dotykom elektródy s materiálom pri prechode skratového prúdu vysokým prechodovým odporom na rozhraní elektródy - materiál sa na konci elektródy rozžeraví a po jej oddialení od materiálu v dôsledku tepelnej emisie elektrónov dôjde k ionizácii okolitého plynného prostredia a vzniku (zapáleniu) elektrického oblúka. Pre zapálenie oblúka stačí relatívne nízka intenzita prúdu.
- Medzi elektródou a zváraným materiálom sa vytvorí ionizované prostredie, ktoré iskrou ionizuje svoje okolie.
- Toto je obvyklé u striedavého prúdu a u jednosmerného prúdu je prechod iskrového výboja v oblúkovom výboji.





# Základné oblasti zvaracieho oblúka

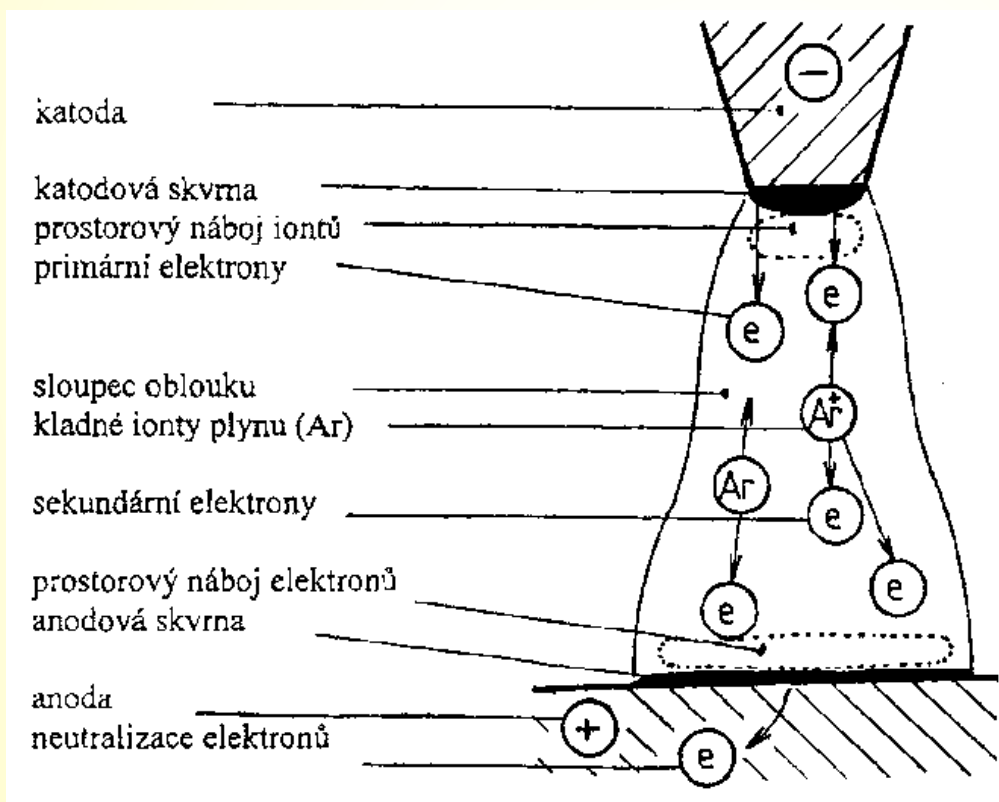
## ► Stípec oblúka

- Je to najväčšia časť elektrického oblúka, má tvar mierne sa rozširujúceho zrezaného kužela a je žiarivo svietiacou oblasťou ionizovaného plynu vo forme plazmy s vysokou teplotou, ktorej maximálna hodnota závisí od mnohých faktorov, hlavne od zloženia plynu a s tým súvisiaceho stupňa ionizácie a disociácie a od intenzity prúdu a hodnoty napätia.

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. 33.



# Časti elektrického oblúka



AMBROŽ, O. A KOL. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. s. 75.





## Elektrický oblúk

- Stípec oblúka je vodivý, čo spôsobujú elektróny.
- Tie vznikajú v dôsledku termickej ionizácie.
- Viacatomové molekuly plynov sa za vysokých teplôt štiepia na atómy.
- Vznikajú kladné ióny, ktoré priťahuje katóda.
- Elektróny zaisťujú vedenie prúdu v stĺpci oblúku, pretože ich hmota je menšia ako hmota iónov, z toho dôvodu je ich pohyb v spáde napätia rýchlejší.



## Katódová oblasť

- Je tvorená žeravou katódovou škvrnou, tj. ohraničenou oblasťou emitujúcou primárne elektróny, ktorá je v závislosti na geometrii a teplote katódy buď relatívne stabilná, alebo má tendenciu sa po povrchu katódy sťahovať.
- Hustota prúdu v katódovej škvrne je v dôsledku zúženia elektrického oblúka  $10^4 \text{ A.cm}^2$  až  $10^5 \text{ A.cm}^2$ .
- Kladné ióny, ktoré dopadajú na povrch katódovej škvرنy, sa neutralizujú a svoju ionizačnú energiu odovzdávajú katóde.
- Táto energia potom napomáha k termoemisi elektrónov.
- Bezprostredne ku katódovej škvrne prilieha oblasť katódového úbytku napätia s hrúbkou  $i_k = 10^{-6} \text{ m}$  až  $10^{-7} \text{ m}$ .
- Na tej býva úbytok napätia  $u_k = 10 \text{ V}$  až  $16 \text{ V}$ .
- Úbytok napätia spôsobuje priestorový náboj iónov, ktorý brzdí elektróny uvoľnené z katódy.



# Anódová oblasť

- Je tvorená anódovou škvrnou, ktorou sú odvádzané (pohlcované) a neutralizované dopadajúce elektróny, ich kinetická energia sa mení na energiu tepelnú.
- V oblasti anódovej škvry sa nachádza priestorový náboj elektrónov, ktorý spôsobuje anódový úbytok napätia  $U_A = 4 \text{ V}$  až  $8 \text{ V}$  pri hrúbke  $l_A = 10^{-5} \text{ m}$  až  $10^{-6} \text{ m}$ .
- Úbytok napätia v anódovej oblasti sa takmer nemení so zvyšovaním prúdu.
- Kritický je prúd, pri ktorom teplota povrchu anódy dosiahne bod varu materiálu anódy.
- Pri nadkritickom prúde sa dostávajú vplyvom varu do anódovej oblasti pary kovu, z ktorého je anóda, a to vedie k zníženiu ionizačného potenciálu zmesi plynov a k zníženiu úbytku napätia na anódovej oblasti.

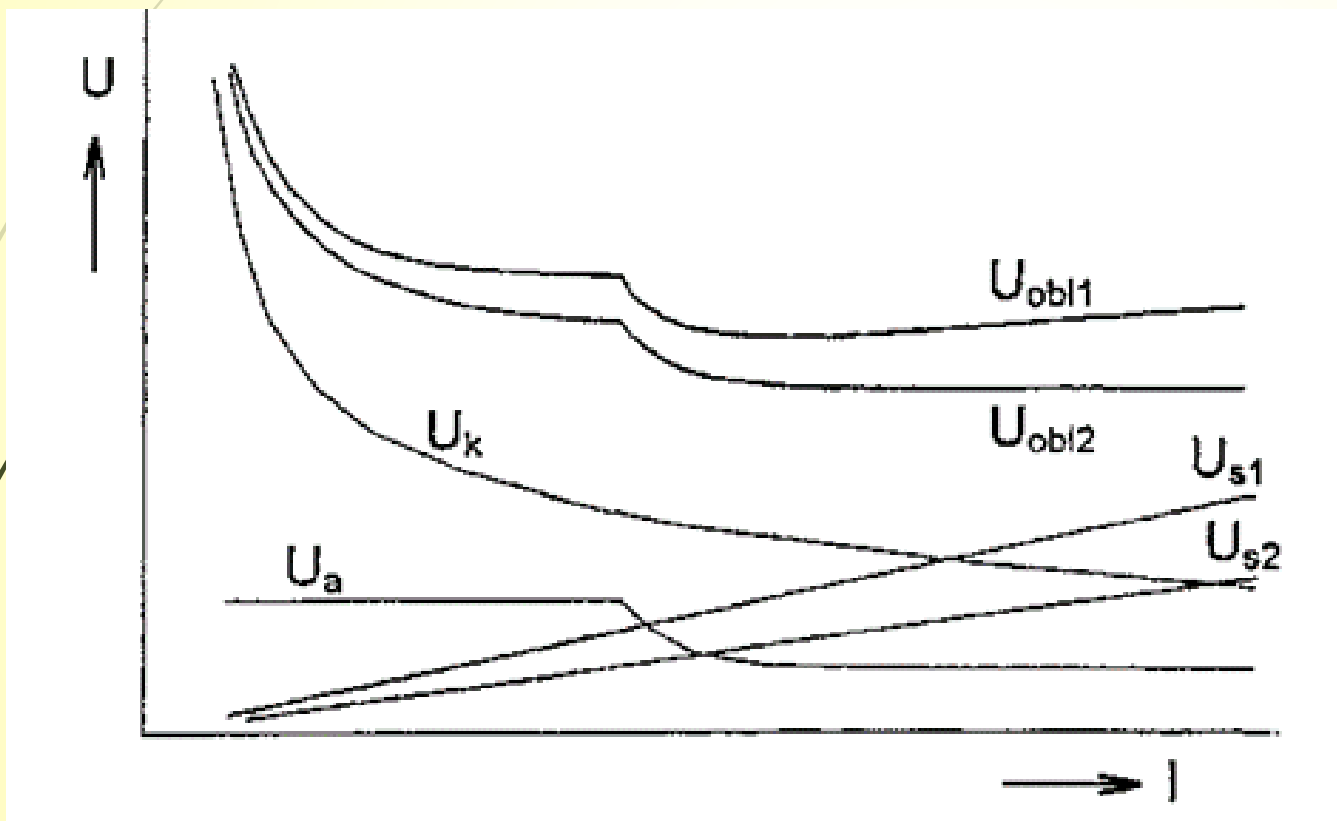


# Voltampérová charakteristika oblúka

- Voltampérová charakteristika oblúka zobrazuje závislosť napätia na oblúku od zváracieho prúdu pri konštantnej dĺžke oblúka.
- Pokiaľ sa mení dĺžka oblúka, mení sa aj napätie, lebo dlhšiemu stĺpcu oblúka zodpovedá väčší úbytok napätia pri približne lineárnej závislosti.
- Na vlastný tvar, polohu a strmosť tzv. statickej charakteristiky oblúka má vplyv chemické zloženie elektródy, zloženie plazmového plynu, geometria hrotu elektródy aj jej priemer.
- Voltampérové charakteristiky oblúka sa budú pre jednotlivé zváracie technológie líšiť v závislosti od parametrov prostredia a podmienok, pri ktorých sa bude oblúk uskutočňovať.



# Voltampérová charakteristika oblúka



$U_a$  - voltampérová charakteristika anódovej oblasti

$U_k$  - voltampérová charakteristika katódovej oblasti

$U_{s1}$ ,  $U_{s2}$  - voltampérová charakteristika stĺpca oblúka pre dĺžky  $l_1$ ,  $l_2$

$U_{obl1}$ ,  $U_{obl2}$  - voltampérová charakteristika celého oblúka pre dĺžky  $l_1$ ,  $l_2$  (Dĺžka oblúka  $l_1 >$  Dĺžka oblúka  $l_2$ )





## Stabilita oblúka

- Stabilita procesu zvarania sa posudzuje ako dynamické správanie celého zvaracieho systému a je podmienená stabilitou elektrického oblúka, ktorá je závislá od technológii zvarania rovnako ako od vlastností zvaracích zdrojov.
- Stabilita sa prejavuje tým, že je lepšia prípadne horšia húsenica, ďalej je zaistená rovnomernosť horenia elektrického oblúka.
- Závisí najmä od vlastností zvaracieho zdroja, zvolených parametrov zvarania, druhu elektródy, prípadne druhu zvoleného ochranného plynu.



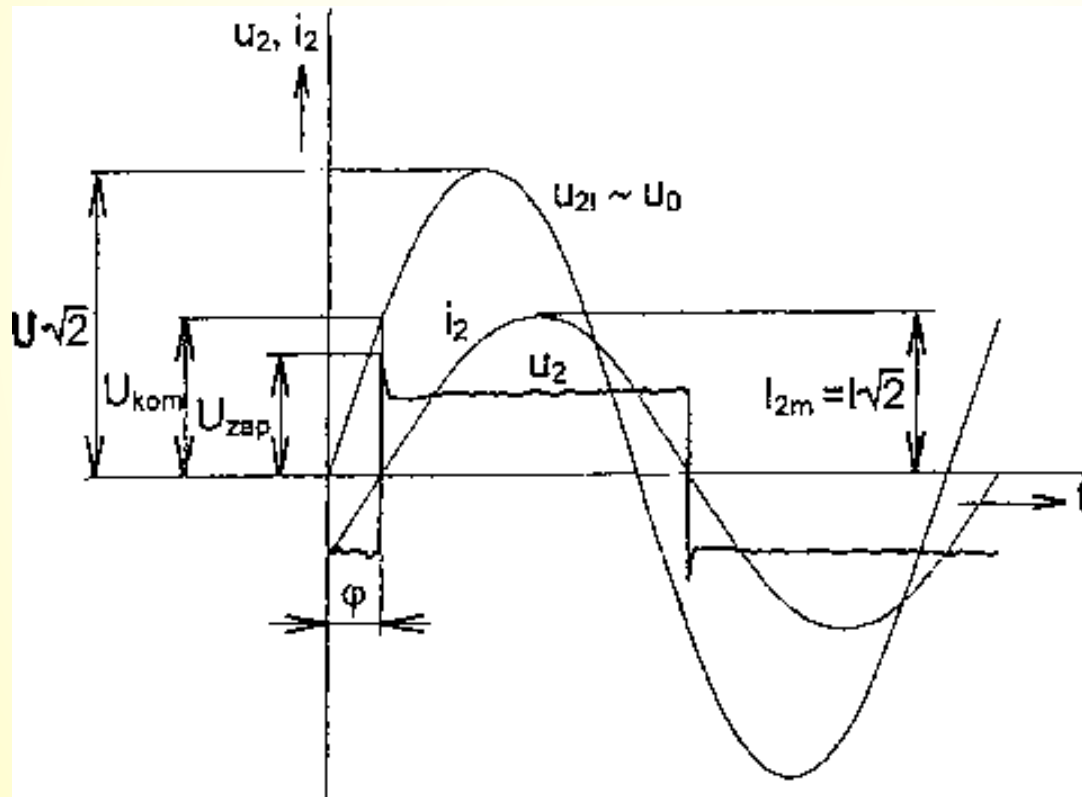


# Elektrický oblúk v obvode striedavého prúdu

- Všeobecne platí, že sa ľahšie zabezpečuje stabilita horenia oblúka pri zváraní jednosmerným prúdom než prúdom striedavým.
- Oblúk napájaný striedavým prúdom horí menej pokojne ako jednosmerný oblúk z toho dôvodu, že zhasína po dobu, kedy napätie na oblúku klesne pod napätie ionizačné a znovu sa zapáľuje pri napätí podstatne vyššom.
- Tento fakt je spôsobený tým, že ako napätie, tak i intenzita prúdu mení svoju veľkosť a smer.
- Pre znovuzapálenie oblúka je nutné zvýšiť zápalné napätie.
- To je možné zaistiť vytvorením fázového posuvu medzi prúdom a napätím napr. zapojením indukčnosti do elektrického obvodu (modernejšej tlmivky do obvodu zváracieho zdroja).



# Časový priebeh napätia na oblúku pri zváraní striedavým prúdom



$U_2$  - priebeh napätia na oblúku;  
 $I_2$  - striedavý prúd idúci oblúkom;  
 $U_{2t}$  - priebeh napätia zdroja;  
 $U_{zap}$  - zápalné napätie;  
 $U_{kom}$  - komutačné napätie;  
 $p$  - fázový posun medzi prúdom a napätím zdroja;  $U_{kom} > U_{zap}$



# Prenos materiálu elektrickým oblúkom

- Faktory pôsobiace na prenos materiálu elektrickým oblúkom:
  - chemické zloženie kovu elektródy,
  - zloženie obalu, tavidlá, ochranného plynu,
  - dĺžka voľného konca elektródy,
  - rýchlosť podávania.
- Pre stabilitu horenia oblúka je nutné zachovať rovnováhu a to medzi rýchlosťou podávania elektródy, rýchlosťou tavenia a prenosu kovu.



## Možnosti prenosu kovu elektrickým oblúkom

- Zváranie elektrickým oblúkom taviacou sa kovovou elektródou v ochrannom plyne vytvára veľkú škálu možností prenosu materiálu z taviacej sa elektródy do zvarového kúpeľa predovšetkým v závislosti od prúdu, napätia na oblúku, priemeru elektródy a zloženia ochranného plynu.



# Spôsoby prenosu zvarového kovu

- V závislosti na vyššie uvedených aspektoch zvarovania možno rozlišovať tieto spôsoby prenosu kovu:
  - sprchový prenos
  - kvapkový prenos
  - skratový prenos



## Sprchový prenos

- Pre ktorý je charakteristický relatívne dlhý oblúk, vysoká prúdová hustota a vyššie napätie na oblúku ( $U_s = 28 \text{ V}$  až  $40 \text{ V}$ ;  $i_s = 200 \text{ V}$  až  $500 \text{ A}$ ).
- Tekutý kov prechádza oblúkom ako prúd oddelených drobných kvapiek.
- Tento spôsob prenosu sa vyskytuje hlavne pri zváraní v ochranných plynoch bohatých na argón.
- Z elektródy sa uvoľňuje jedna kvapka kovu pri použití pulzného prúdu.





## Kvapkový prenos

- Je charakteristický pre zváranie v ochrannom plyne  $\text{CO}_2$ , kedy pri parametroch zvárania ( $U_s = 24 \text{ V}$  až  $28 \text{ V}$ ;  $i_s = 200 \text{ A}$  až  $300 \text{ A}$ ) a kratším oblúkom sa odtavujú väčšie kvapky kovu frekvenciou 5 až 10 kvapiek za sekundu.
- So zvyšujúcim sa prúdom veľkosť rozmeru kvapiek klesá a zvyšuje sa frekvencia ich oddeľovania.

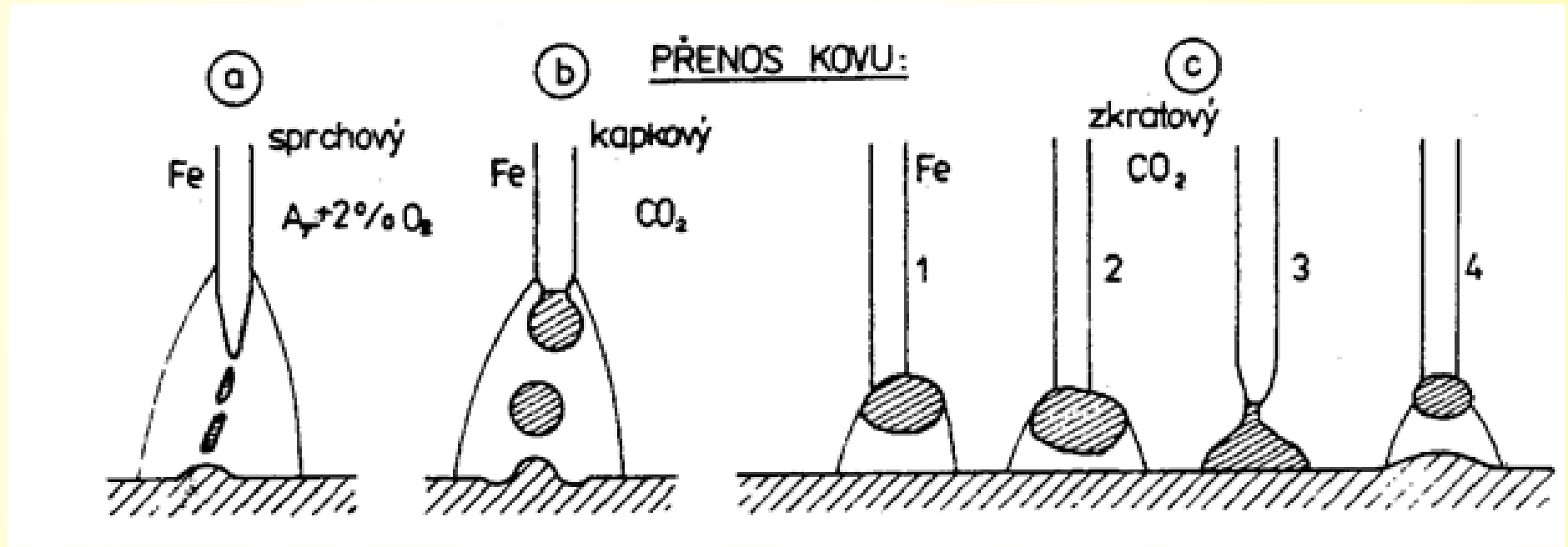


## Skratový prenos

- Pri krátkom oblúku, ktorý sa vyznačuje pravidelným striedaním fázy horenia oblúka a fázy skratu, pri ktorom sa kvapka roztaveného kovu na konci elektródy dotkne tavného kúpeľa, vytvorí skrat a po jeho prerušení sa opäť zapáli oblúk.
- Prúdová hustota je stredná až malá, taktiež napätie na oblúku ( $U_s = 14 \text{ V}$  až  $22 \text{ V}$ ;  $i_s = 50 \text{ A}$  až  $200 \text{ A}$ ).



# Spôsoby prenosu kovu elektródy v oblúku



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. 36.



# Prenos kovu elektródy v oblúku

- Pri prenose nataveného materiálu elektródy do zvarového kúpeľa sa uplatňuje zložitý systém silového pôsobenia.
- Veľkosť, smer a výslednica síl ovplyvňujúca tvar, veľkosť a frekvenciu kvapiek kovu elektródy sú určované týmito faktormi:
  - technologické parametre zvarovania,
  - prúd, napätie, prúdová hustota, priemer elektródy, polarita,
  - fyzikálne vlastnosti roztaveného kovu,
  - povrchové napätie, viskozita, teplota tavenia, bod varu,
  - vlastnosti ochranného plynu,
  - teplota, tepelná vodivosť, chemické interakcie.



## Účinky elektrického oblúka

- Tepelné účinky oblúka
- Mechanické účinky oblúka



## Tepelné účinky oblúka

- Elektrický oblúk je intenzívnym zdrojom tepla, z hľadiska tavného zvarovania má veľmi priaznivé vlastnosti.
- Tepelný účinok oblúka sa koncentruje na pomerne malú plochu a účinnosť prenosu energie do zvarovaného materiálu je dobrá.
- Prostredníctvom parametrov zvarovania možno v súvislosti s tepelnými a mechanickými účinkami oblúka ovplyvňovať aj zvarový spoj z hľadiska jeho geometrie (šírka a hĺbka prievaru, šírka tepelne ovplyvnenej oblasti) a tiež veľkosťou napätia a deformácie vo zvarovanom materiáli.





## Tepelné účinky oblúka

- Množstvo tepla vzniknutého v jednotlivých oblastiach oblúka je všeobecne úmerné príslušnému úbytku napätia a časovému účinku prúdu (napr. na anóde  $q_a = U_a \cdot i_s \cdot t$ ).
- Najviac tepla sa preto vyvinie v anódovej oblasti (kde sa premieňa kinetická energia dopadajúcich nosičov nábojov - elektrónov na teplo), menej v oblasti katódovej (katóda je ochladzovaná termoemisiou elektrónov) a najmenej v stĺpci oblúka.
- Teplota anódy je o 200 ° C do 500 ° C vyššia ako teplota katódy.



# Tepelné účinky oblúka

- Teplota oblúka a roztaveného kovu elektródy a základného materiálu patrí k najdôležitejším faktorom, ktoré určujú fyzikálne, chemické a metalurgické vlastnosti zvaracieho procesu.
- Na teplote závisí stupeň disociácie a ionizácie plynu v oblúku, rozpustnosť plynov v kove, tavenie elektródy a prenos kovu oblúkom.
- Na tepelnú bilanciu oblúka má rozhodujúci vplyv smer prúdenia plazmy a prenos tepla vedený medzi plazmou a roztaveným zvarovým kúpeľom.
- Teplota v stĺpci oblúka závisí okrem tepelného príkonu aj od tepelnej vodivosti plynu, v ktorom oblúk existuje a je tým vyššia, čím je horší odvod tepla, tzn. čím je tepelná vodivosť okolia nižšia.



## Tepelné účinky oblúka

- Z plynov bežne sa vyskytujúcich pri zváraní je tepelne najmenej vodivý argón, najvodivejší je oxid uhličitý.
- Preto pri rovnakom tepelnom príkone a rovnakej dĺžke má najväčší priemer stípcu a najvyššiu teplotu oblúk v argóne, najmenší priemer stípcu a najnižšiu teplotu oblúk v oxide uhličitom.
- Maximálne teploty oblúka sú v strede a na okraji klesajú.



## Tepelné účinky oblúka

- Pri zváraní obalenou elektródou sa teplota oblúka pohybuje medzi  $4200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $6400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pri zváraní pod tavivom  $6200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $7800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v ochrannej atmosfére WIG  $6500\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $9000\text{ }^{\circ}\text{C}$  a pri zváraní MIG / MAG sa teploty pohybujú v rozmedzí  $8000\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $15000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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. 38.



## Tepelné účinky oblúka

- Pri zváraní taviacou sa elektródou je tepelná účinnosť procesu vždy vyššia ako u metódy WIG, lebo teplo vzniknuté na elektróde sa nestráca, využije sa k roztaveniu prídavného materiálu, ktorý prechádza v tvare kvapiek do zvarového kovu.



## Mechanizmy, ktoré sa podieľajú na prenose energie oblúku do zváraného kovu

- priame vybavenie tepla na základnom materiáli,
- prenos tepla prúdom žeravej plazmy a pohltenie časti energie žiarenia oblúka,
- prenos tepla z elektródy do zvarového kúpeľa kvapkami kovu,
- teplo získané premenou z kinetickej energie dopadajúcich kvapiek kovu.





# Mechanické účinky oblúka

- ▶ Mechanické účinky oblúku sa prejavujú značným silovým pôsobením na tavný kúpeľ a tým dávajú predpoklad dosiahnutia hlbokého závaru.
- ▶ Najvýznamnejšie vplyvy sú:
  - ▶ sila prúdu plazmy stĺpca oblúka vytvárajúca tlak, ktorý smeruje kolmo na povrch zvarového kúpeľa, stláča jej stred a prispieva k zvyšovaniu pomeru hĺbky a šírky zvarovej húsenice (najvyššieho tlaku sa dosahuje pri zváraní v  $\text{CO}_2$ , najnižšieho u He),
  - ▶ kinetická energia kvapiek roztaveného prídavného materiálu prenášaných a urýchľovaných prúdom plazmy,
  - ▶ reaktívny tlak pár unikajúcich z aktívnej oblasti tavného kúpeľa a tlak prúdu kovových pár z prehriateho povrchu elektródy.
- ▶ Na prúdení tekutého kovu vo zvarovom kúpeľi sa podieľajú ešte navyše elektromagnetické sily spôsobené elektrickým prúdom prechádzajúcim cez tavný kúpeľ, sily povrchového napätia a vztlakovej sily súvisiace s rozdielnou hustotou tekutého kovu.



## Vplyv magnetických polí na oblúk

- Okolo každého vodiča prúdu a teda aj oblúka, ktorým preteká elektrický prúd, vzniká magnetické pole, ktoré sa prejavuje svojimi silovými účinkami predovšetkým v oblasti elektrického oblúka.

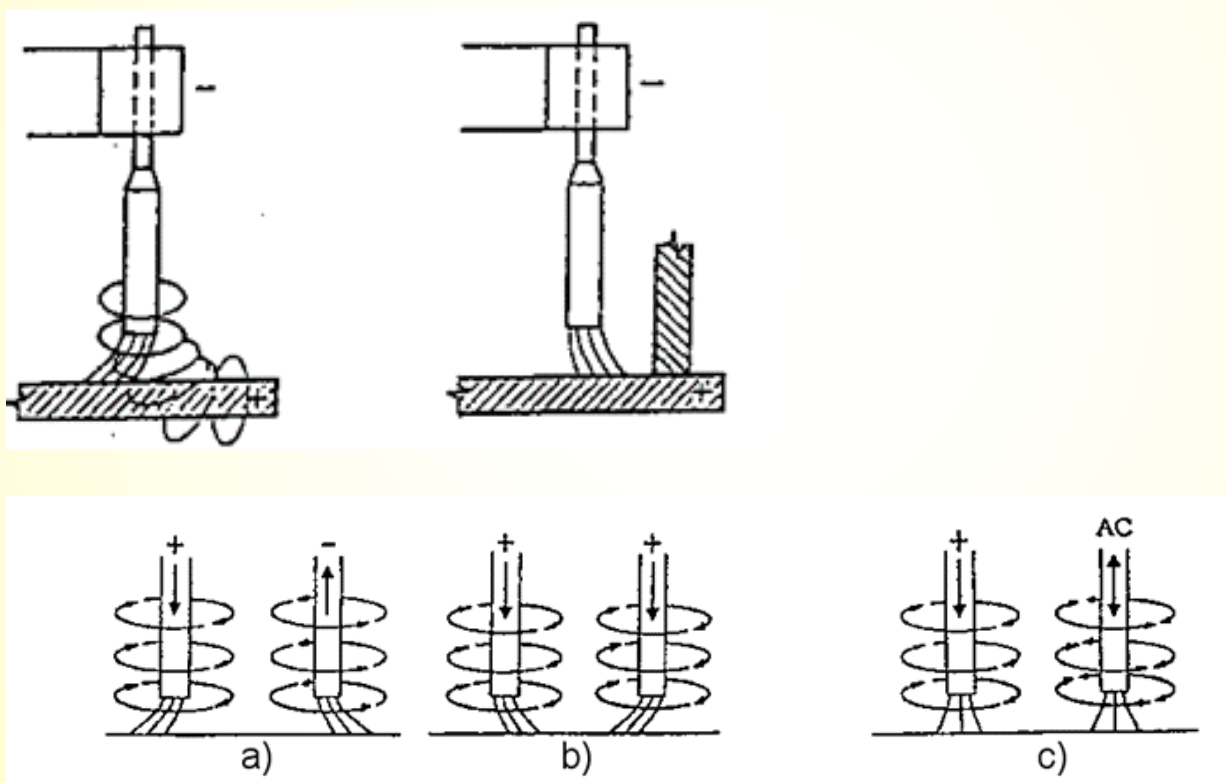


## Fúkanie oblúka

- Vzhľadom k malej tuhosti oblúka ako plynného a veľmi pružného vodiča elektrického prúdu môžu mať aj malé sily magnetického poľa, za následok vychyľovanie elektrického oblúka od smeru osi elektródy v rozsahu majúcom nepriaznivý vplyv na tvorbu zvarovej húsenice.
- Dôsledkom je potom nevzhľadný a nekvalitný zvar.
- Tento jav sa nazýva fúkanie oblúka a príčinou je jednak magnetické pole vznikajúce okolo každého vodiča prúdu, ale tiež nerovnomerné rozdelenie prúdu vo zváranom predmete a členitosť zvárannej konštrukcie. Zmierniť nepriaznivé dôsledky tohto javu sa dá dosiahnuť umiestnením prívodnej zvierky čo najbližšie k miestu zvárania, naklonením elektródy proti smeru fúkania oblúku pod.
- Pri zváraní striedavým prúdom sú ťažkosti s fúkaním oblúka podstatne menšie než u prúdu jednosmerného.



# Magnetické fúkania oblúka



Popis:

- a) pri nevhodnom, pripojenie uzemňovacieho kábla,
- b) pri zváraní blízko rebier,
- c) u dvoch oblúkov vedľa seba



# Otázky na zamyslenie

1. Vysvetlite podstatu elektrického oblúka a podmienok jeho vzniku.
2. Aké sú spôsoby zapalovania elektrického oblúka?
3. Popíšte základnej časti elektrického oblúka.
4. Ako a čím hodnotíme stabilitu elektrického oblúka?
5. Opíšte druhy prenosu kovu elektrickým oblúkom.
6. Ktoré sily a ako pôsobia na kvapky roztaveného kovu prenášané oblúkom?
7. Ktoré faktory ovplyvňujú smer pôsobenia elektromagnetickej sily v oblúku?
8. Ako sa prejavujú tepelné účinky elektrického oblúka?
9. Popíšte mechanické účinky elektrického oblúka.
10. Čo je "fúkanie oblúka" a čím je spôsobené?





## 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.
- 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.