

1) Svařování plamenem

Definice

Svařování plamenem je způsob tavného svařování, který využívá tepla získaného spalováním hořlavého plynu (nejčastěji acetylenu) smíšeného s kyslíkem (nebo ojedinele se vzduchem) ve zvláštním hořáku



ZNAČENÍ METODY – podle ČSN EN ISO 4063

metoda **311**,

Kyslíko - propanové svařování jako **312**

Kyslíko - vodíkové svařování **313**.

oxyfuel gas welding

ROZSAH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

Druh základního materiálu (ZM) : všechny svařitelné materiály

Tloušťka základního materiálu: 0,5 až 6 mm (do 2 mm lze svařovat bez PM)

Polohy svařování: všechny

Pracovní tlaky plynů: kyslík (250 – 350 kPa), acetylen (20 kPa)

Průměr přídavného materiálu: 1,6 – 6,3 mm (možno i menší, ale většinou se nepoužívají)

Svařovací rychlost: 20 až 70 cm.min-1

Svařovací postupy: : dopředu, dozadu

ZAŘÍZENÍ PRO SVAŘOVÁNÍ PLAMENEM

1) tlaková lahev na kyslík

2) Tlaková lahev na hořlavý plyn – Acetylen

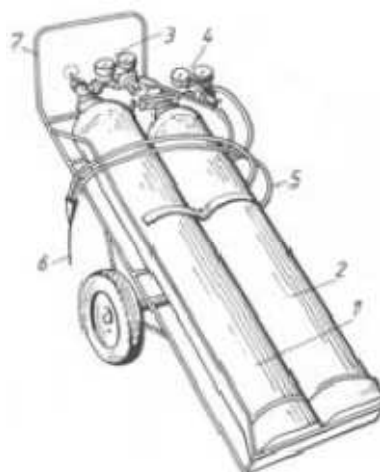
3) Redukční ventil na kyslík

4) Redukční ventil na Acetylen

5) Tlakové hadice

6) Svařovací hořák

7) Vozík



SVAŘOVACÍ HOŘÁKY

Stejnotlaký

Injektorový

POUŽÍVANÉ PLYNY

- Kyslík – O₂

- Acetylen – C₂H₂

Další používané hořlavé plyny : - Propan – C₂H₆, Etan – C₂H₆, Vodík – H₂, Zemní plyn - CH₄,

KYSLÍK – O₂

- Bezbarvý plyn bez chuti a zápachu ve zkapalněné formě má modrobílou barvu

- Vyrábí se např. elektrolytickým rozkladem vody, dodává se v plynném stavu – v tlakových lahvích stlačených na 15 MPa *Ústav strojírenské technologie, skupina svařování*

- Atomy kyslíku jsou nestále a slučují se s dalšími atomy na molekuly O₂ nebo s atomy jiných prvků za vzniku sloučenin (oxidů)

Oxidace = reakce látek s kyslíkem probíhá:

při běžných teplotách : pomalu za vývinu tepla (dýchání, koroze)

při vyšších teplotách: se rychlost oxidace podstatně zvyšuje a reakce se stávají prudce exotermické – začne docházet k prudké reakci látek s kyslíkem provázené světelným a tepelným zářením tzv. hoření

- Pro aplikace jako je řezání kyslíkem je podmínkou vysoce čistý kyslík (min. 99,5 % optimum je 99,95)

ACETYLEN – C₂H₂

- Acetylen je hořlavý plyn s nejvyšší teplotou hoření plamene a s nejnižší spotřebou kyslíku a s nejvyšší rychlostí hoření.

- Bezbarvý, nejedovatý plyn, specifického zápachu

- Vyrábí se z karbidu vápenatého – působením vody ve speciálních vyvíječích nebo štěpením metanu ze zemního plynu

- Acetylen nelze stlačovat! – už při tlaku cca 0,2 MPa dochází k jeho rozkladu a nebezpečí exploze

- Z bezpečnostních důvodů nesmí proto pracovní tlak překročit 0,15 MPa

- Tlakové lahve jsou vyplněny vysoce pórovitou hmotou, která je napuštěna kapalným Acetonem, v kterém je rozpuštěn plynný Acetylen

- To umožňuje zvýšení tlaku lahve – na 1,5 MPa

ACETYLEN – Vlastnosti

- Acetylen je velice labilní

- Při ohřátí na teploty mezi 300 až 800 °C nastává polymerizace a kondenzace na vyšší uhlovodíky, za vývinu tepla

- Uvolněné teplo zvyšuje postupně teplotu a reakce se zrychluje

- Nad 800 °C dochází k vnitřnímu rozkladu a zároveň se stále vyvíjí i teplo $C_2H_2 = 2 C + H_2 + Q$ (teplo)

Při nízkém tlaku dochází pouze k rozkladu v místě tepelného impulsu

Při vyšším tlaku tepelný impuls způsobuje rozklad celého uzavřeného objemu, přičemž reakce má explozivní charakter (pracovní tlak nesmí překročit 0,15 MPa)

ACETYLEN – Skladování

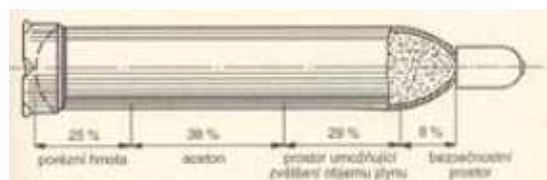
- Čistý acetylen se rozpustí v acetonu (dissousplyn)

- Naplní se do ocelových tlakových lahví (jejichž vnitřní objem je naplněn vysoce pórovitou hmotou na bázi speciálních skleněných vláken)

- 1 l Acetonu rozpustí 300 až 400 l Acetyleny (při tlaku 1,5 MPa)

Zahřátý acetylen se potom nerozkládá v celém objemu lahve, ale pouze v mikroobjemu vymezeném pórovitostí hmoty

- Nebezpečnou reakci lze potom zastavit chlazením



BAREVNÉ ZNAČENÍ TLAKOVÝCH LAHVÍ

Acetylen - KAŠTANOVÁ

Kyslík - BÍLÁ

NASTAVENÍ SVAŘOVACÍHO PLAMENE

- Svařovací plamen se nastavuje ventily na svařovacím hořáku

- V injektorovém hořáku je hořlavý plyn nasáván proudícím kyslíkem

- K dokonalému spalování acetyleny je potřeba 2,5 násobné množství vzduchu – při normálním nastavení plamene je směs v poměru 1:1 = nedochází k dokonalému spalování

(1. Stupeň spalování – primární plamen) – svařovací zóna (max. teplota)

- Vznikající plyny (Oxid uhelnatý, vodík), vytvářejí bezkyslíkatou redukční zónu

- Kyslík pro dokonalé spalování plynů se bere z okolního vzduchu (2. Stupeň spalování – sekundární – redukční plamen)

Typy plamene:
Dle POMĚRU

Neutrální (směšovací poměr $O_2 : C_2H_2 = 1$ až $1,1 : 1$)

Redukční (směšovací poměr $O_2 : C_2H_2$ menší než 1)

Oxidační (směšovací poměr $O_2 : C_2H_2 = 1,2 : 1$)

1) Neutrální plamen

Pro běžné svařování

- Pro svařování nízkouhlíkových ocelí

2) Redukční plamen

Nauhličuje svar. lázeň – svar je křehký, tvrdý a pórovitý

- Pro svařování lehkých kovů a ocelí vyšších pevností

3) Oxidační plamen

Oxiduje svarovou lázeň, dochází k vypalování legur a oxidy, které zůstanou ve svaru snižují vrubovou houževnatost a tažnost svaru

- Pro svařování mosazí a některých bronzů

Dle VÝSTUPNÍ RYCHLOSTI

Měkký – výstupní rychlost 70 až 100 m/s

- nestabilní plamen, náchylný ke zpětnému šlehnutí, malé víření svarové lázně

Střední – výstupní rychlost 100 až 120 m/s

- stabilní plamen, přiměřený dynamický účinek, nedochází ke zpětnému šlehnutí

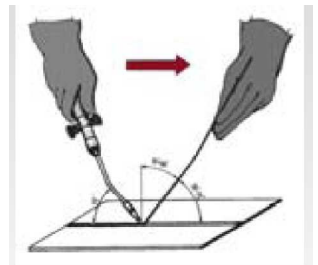
Ostrý – výstupní rychlost nad 120 m/s

- Velký dynamický účinek na lázeň. Rozhánění lázně do stran, rozpouštění plynů v lázni, velká TOO

TECHNIKA SVAŘOVÁNÍ PLAMENEM

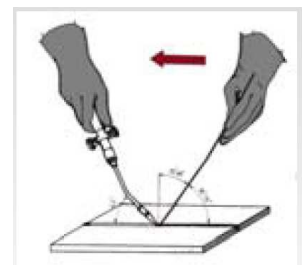
Svařování DOPŘEDU (DOLEVA)

- používá se pro tenké plechy (do 3 mm)
- směr plamene odpovídá směru svařování (tavná lázeň je mimo zónu nejvyšších teplot a může být malá)
- předchází zahřátí místa svaru
- rychlé ochlazení svar. Housenky umožňuje vyšší rychlost svařování
- nedostatečná ochrana tavné lázně (horší mechanické vlastnosti svar. kovu)
- snazší postup – nižší nároky na svářeče



Svařování DOZADU (DOPRAVA)

- Použití pro plechy o větší tloušťce než 3mm = světelný kužel o max. hodnotě teploty plamene směřuje přímo do tavné lázně
- Plamen směřuje na již hotový svar = pomalé ochlazování svaru
- zlepšení mechanických vlastností
- vyžháním svarové housenky
- ochrana svaru redukční oblastí plamene před okolní atmosférou
- Náročnější postup pro svářeče



2) Řezání kyslíkem

Prncip:

Proces spočívá v předehřátí řezaného materiálu na zápalnou teplotu (1150 C pro Fe) a následném přivedení kyslíku pod tlakem, který zajistí spalování kovu a vytvoření řezné spáry

Proces řezání lze rozdělit do 3 etap:

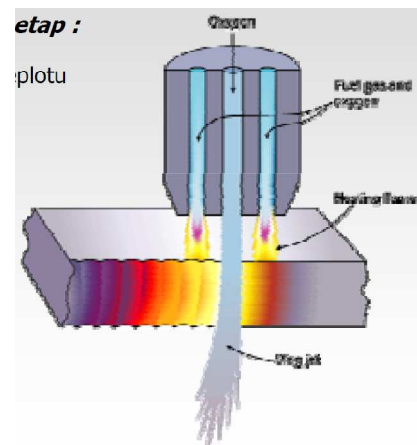
- Ohřev kovu na zápalnou teplotu
- Oxidace kovu
- Vyfukování roztaveného produktu z řezné spáry

Zařízení:

Řezací hořák:

Směšovač:

- Injektorový
- Rovnotlaký



PODMÍNKY ŘEZATELNOSTI KYSLÍKEM

- Zápalná teplota řezaného kovu musí být stejná nebo nižší než je jeho teplota tavení
- Teplota tavení vznikajících oxidů (strusky) musí být nižší než teplota tavení řezaného materiálu - vzniklé oxidy musí být řidce tekuté
- Množství tepla, které se při spalování uvolňuje, musí být dostatečné pro udržení exotermické reakce – aby se místo řezu udržovalo na zápal. teplotě
- Kov, který se řeže, nesmí mít vysoký obsah legur zvyšujících kalitelnost (Mo, W, Ni ...) nebo, které brání řezání (C, Cr, Si ...) = řezaný materiál ohřátý na určitou teplotu se musí spalovat v proudu Kyslíku

ŘEZÁNÍ KYSLÍKEM - POUŽIT

- Strojírenství: příprava svarových ploch
- Metalurgie: dělení odlitků
- Demoliční práce: např. dělení železobetonu, odstraňování sutin
- Námořní aplikace: řezání pod vodou
- Zmíněné podmínky řezatelnosti dobře splňují konstrukční oceli s obsahem uhlíku – C do 1,2%
- Max. řezatelná tloušťka komerčně dostupnými zařízeními je 300 mm. (Při speciální úpravě lze však řezat až do tloušťky 2000 mm)

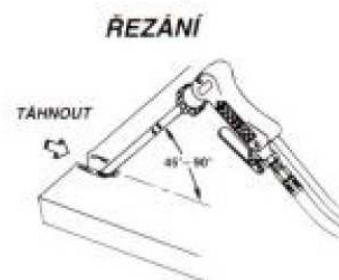
KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY A MODIFIKACE

Od počátků používání metody řezání kyslíkem je patrný trend:

- zvyšování řezných rychlostí
- úspora kyslíku a hořlavých plynů
- použití jiných hořlavých plynů než je nebezpečný acetylen
- Vývojem procházela i zařízení pro použití acetylenu :
- Bezpečnostní prvky
- Design hubic
- Rozdělení hubice na nahřívací a řezací

KYSLÍKOVÉ KOPÍ

Ve velkých kusech materiálu měkkou tlustostěnnou ocelovou trubkou
Na držák hořáku je nasazena výměnná železná (ocelová) trubka – kopí
Výstupní konec trubky je zahřát vnějším zdrojem tepla až na zápalnou teplotu - ohřeje se plamenem do bílého žáru – a do trubky je připojena hadice s přívodem kyslíku, který je tedy přiváděn středem trubky (o tlaku 1,5 až 2 MPa)



3) Elektrický oblouk

Definice

Elektrický oblouk (využitelný pro svařování) je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který vzniká obvykle mezi elektrodou a základním materiálem v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma v oblouku v ionizovaném stavu.

ELEKTRICKÝ OBLOUK - charakteristika

Elektrický oblouk je intenzívně svítící a zřetelně ohraničený výboj kruhového průřezu (průměr asi 0,1 až 1 cm) a vysoké teploty, vznikající při proudech větších než 0,3 A a při vyšších tlacích. Svařovací oblouk má délku asi 2 až 7 mm, Charakteristický proud 10 až 2000 A a napětí 10 až 50 V. Jeden ze základních dějů v oblouku spočívá v tom, že se uvolňují na katodě elektrony (termickou emisí), které přecházejí sloupcem horkého ionizovaného plynu na anodu, z níž jsou odváděny.

ELEKTRICKÝ OBLOUK - vlastnosti

Výkon, geometrický tvar a teplotu elektrického oblouku je možné podle technologických požadavků měnit v širokých mezích:

- Tato variabilita dala vzniknout řadě způsobů svařování:

- Ruční svařování obalenými elektrodami
- Automatické svařování pod tavidlem
- Svařování v ochranných atmosférách

Fyzikální a metalurgické děje

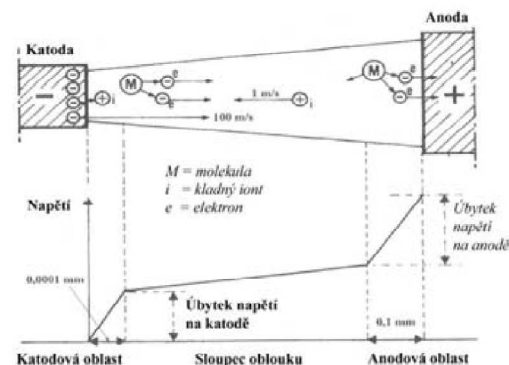
- Tyto děje probíhají v elektrickém oblouku velmi rychle a za vysokých teplot
- Mají vliv na hoření a stabilitu oblouku a jsou ovlivňovány především následujícími okolnostmi:
 - chemickým složením plazmatu, materiálem elektrod a částečně okolní atmosférou
 - geometrickým uspořádáním a tvarem elektrod
 - tepelnou vodivostí plazmatu, elektrody a základního materiálu

Základní části elektrického oblouku

• Nejlépe lze jednotlivé části popsat na stejnosměrném oblouku hořícího mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v ochranném prostředí argonu, protože při stejnosměrném proudu a konstantní délce oblouk hoří velmi stabilně beze změny napětí a proudu

• El. oblouk lze rozdělit na: **strojírenské technologie, skupina svařování**

- **Katodovou oblast**
- Katodovou skvrnu, Oblast katodového úbytku napětí
- **Sloupec oblouku**
- **Anodovou oblast**
- Anodovou skvrnu, Oblast anodového úbytku napětí



Katodová oblast

Nachází se v oblasti katody, jejíž velikost je cca 10-6 až 10-7 m, dochází v ní k emisi elektronů, která se soustřeďuje v místě minimálního emisního odporu – v tzv. katodové skvrně

katodová skvrna lze charakterizovat jako část povrchu žhavé katody, z níž katody, elektrony vystupují (jsou emitovány).

Délka katodové skvrny je cca 10-4 mm.

Oblast katodového úbytku napětí je prostor vyplněný plynem, bezprostředně sousedící s katodou, v němž nastává prudký spád napětí. Úbytek napětí je asi 10 až 16V a je závislý na materiálu katody (na jeho emisních schopnostech).

Sloupec oblouku

- Jasně zářící viditelná část oblouku, pro níž je charakteristická vysoká teplota a nízký gradient napětí.
- Má tvar mírně se rozšiřujícího kužele směrem od katody k anodě.
- Elektrická vodivost sloupce oblouku je způsobena přítomností elektronů a aniontů, které vznikají v důsledku termodynamických jevů ve sloupci: **Disociace**, **ionizace**, **Excitace**
- Sloupec je tedy tvořen plazmatem (tj. ionizovaným, elektricky vodivým plynem) a dosahuje vysokých teplot.

Anodová oblast

Anodová oblast má délku cca 10-5 až 10-6 m

Uvolňuje se v ní větší tepelný výkon než v katodové oblasti (zhruba o 30% více tepla) - zapříčiněno rekombinací, při které se uvolňuje ionizační a disociační energie.

Anodová skvrna rojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování

část povrchu anody, kde jsou elektrony pohlcovány, tj. vstupují do anody.

Délka anodové skvrny je cca 10-2 mm.

Oblast anodového úbytku napětí

oblast bezprostředně přilehlá k anodě, v níž nastává prudký pokles napětí.

V oblasti anodové skvrny se nachází prostorový náboj elektronů, který způsobuje úbytek napětí v rozmezí 4 - 8 V (je však opět závislý na materiálu anody) v důsledku menší tloušťky a větší plochy anody.

Termodynamické jevy v elektrickém oblouku

DISOCIACE

Vyskytuje se u molekul, které jsou tvořeny dvěma a více atomy.

V důsledku přivedení energie (disociační) dojde k rozštěpení molekuly na jednotlivé atomy.

Příklad : $H_2 + 4,48 \text{ eV} \rightarrow H + H$ – následuje disociace = $H + H$

Disociace je děj, při kterém se molekuly, které při normální teplotě jsou dvouatomové (např. O_2 , H_2 , N_2) nebo jsou ještě složitější (např. CO_2), rozpadají na jednotlivé atomy.

REKOMBINACE

V elektrickém oblouku dochází na anodě (využitě teplo) a na vnějším plášti sloupce oblouku (ztráty) ke sloučení (**rekombinaci**) disociovaných atomů do původní molekuly a přitom se uvolní naakumulovaná energie.

- rekombinace disociované molekuly vodíku

$H + H \rightarrow H_2 + 4,48 \text{ eV}$

IONIZACE

- Uplatňuje se u jednoatomových molekul (ty buď vznikly z víceatomových molekul v důsledku disociace, nebo samy tvoří jednoatomové molekuly – např. u vzácných plynů Ar, He) V důsledku přivedené energie (ionizační) dojde k odštěpení valenčního elektronu tak, že vznikne kladný iont a volný elektron. Na anodě a na vnějším plášti sloupce oblouku dojde k jejich sloučení (**rekombinaci**) a k uvolnění ionizační energie. **Ionizace** je děj, při kterém se atom rozpadne na záporný elektron a kladný zbytek atomu (kladný iont)
- Snadno se ionizující prvky zvyšují stabilitu el. oblouku, snižují napětí na el. oblouku a zlepšují zapalování el. oblouku.
- Obtížně se ionizující prvky zvyšují přenesené teplo a v důsledku toho zlepšují závar a umožňují vyšší rychlosti svařování.

EXCITACE

V důsledku přijaté energie dojde k excitaci elektronu (= elektronu se zvýší jeho kinetická energie a elektron přejde na vyšší energetickou hladinu). Tento jev je nestabilní a elektron přejde po čase zpět na původní hladinu (orbit) a přitom vyzáří kvantum energie. Se stoupající teplotou oblouku se zkracuje vlnová délka vyzářeného vlnění (tj. stoupá podíl UV záření), které velmi nepříjemně působí na fyziologii člověka.

Proces hoření elektrického oblouku

Elektrony (které jsou termicky emitovány z katody) získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách **ionizovat** neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Kinetická energie dopadajících částic se na anodě mění na energii tepelnou a z části i na elektromagnetické záření. Vyšší teplota anodové skvrny (v porovnání s katodovou skvrnou) se připisuje intenzivnějšímu uvolňování tepla při neutralizaci rychle letících elektronů a přeměně kinetické energie elektronů na tepelnou energii. Na katodovou skvrnu dopadají **kladné ionty**, které se pohybují ve směru záporného pólu vlivem elektrostatických sil. Ionty se na povrchu neutralizují a předávají svoji ionizační energii, která přispívá k termoemisi elektronů.

Teplota katodové skvrny není stálá a zvyšuje se s růstem proudu. Vlivem ochlazovacího efektu termoemise elektronů se pohybuje kolem **2400-3000 °C**. Elektrický oblouk se zužuje a proudová hustota na katodové skvrně je velmi vysoká a dosahuje až 104-105 A/cm². kladné ionty a sekundární elektrony. **Teplota anodové skvrny** se pohybuje v rozmezí **2 700 – 3 600 °C** (je tedy u anod s malým odvodem tepla – např. u obalených elektrod – asi o 500 - 600 °C větší než na katodě). Zvyšováním proudu teplota roste, protože se skvrna zmenšuje a tím roste proudová hustota. Významnou vlastností elektrického oblouku je **schopnost spojovat místa s minimálním napětím** (tzn. hoří mezi nimi). Vlastní sloupec oblouku tvoří směs elektronů, iontů a neutrálních atomů, které jsou při existujících vysokých teplotách v plazmatickém stavu. Plazma elektrických svařovacích oblouků je obvykle ve stavu „kvazineutrálním“, tj. v daném objemu a okamžiku předpokládáme stejný počet kladných i záporných částic. Disociační a ionizační energie složek plazmatu se v okrajových částech oblouku uvolňuje a technologicky využívá ke svařování. Sloupec oblouku je tedy tvořen plazmatem (tj. ionizovaným, elektricky vodivým plynem) a dosahuje vysokých teplot.

Teploty elektrického oblouku

- **Maximální teploty oblouku** jsou ve středu sloupce oblouku a k okraji postupně klesají, přičemž nejvyšší teplota je těsně pod katodovou skvrnou, kde dosahuje až 16 000 °C.
- Ručním svařování obalenou elektrodou **4 200 – 6 400 °C**,
- Svařování pod tavidlem **6 200 – 7 800 °C**
- Svařování v ochranných atmosférách
- metodou TIG (WIG) **6 500 – 9 000 °C**,
- metodou MIG/MAG **8 000 – 15 000 °C**. (vytváří se vysoká proudová hustota, která zaručuje velmi vhodné podmínky pro ionizaci)

- Plazmový oblouk, jehož průřez je extrémně zmenšen (intenzivním ochlazováním nebo stlačením magnetickým polem), může mít teplotu až **30 000 °C** v důsledku velké proudové hustoty.
- **Maximální teplota** závisí na řadě faktorů : především na počtu srážek částic v oblouku, který je dán intenzitou proudu a hodnotou napětí prostředí oblouku, které určuje stupeň disociace a ionizace v závislosti na teplotě

ČVUT, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování

Hodnoty proudové hustoty, teploty a tlaku ve sloupci oblouku jsou dány Gaussovým rozložením s maximem v ose elektrody **Změna napětí** na sloupci oblouku závisí na jeho délce. Se zvyšující se vzdáleností musí napětí růst, aby se hoření oblouku udrželo. Poměrný úbytek napětí je cca 2 V na mm délku oblouku

Princip hoření elektrického oblouku

Oblouk vhodný ke svařování může existovat jen pokud má plyn dostatečně vysoký tlak (normální atmosférický tlak). Plyn mezi oběma elektrodami tvoří sloupec oblouku a udržuje se na vysoké teplotě. Při takto vysokých teplotách nastává **disociace**. S rostoucí teplotou pak roste i stupeň disociace. Při zvyšování teploty se atomy také **ionizují**. Plyn nacházející se ve stavu ionizovaném se nazývá plazma. Podmínkou vzniku a udržování oblouku je tedy přítomnost ionizovaného plynu mezi elektrodami. Ionizace plynu při zapalování oblouku může být vyvolána teplotou, vysokým napětím, případně ionizačním zářením (UV, gama apod.). Ionizovaný plyn vede elektrický proud a ionizací se dostává plyn do plazmatického skupenství.

Tepelná bilance elektrického oblouku

Obloukové svařování je velice rozšířeno proto, že oblouk je intenzivním zdrojem tepla, který je koncentrován na poměrně malou plochu a účinnost přenosu tepla do svaru je dobrá. Při hoření oblouku vzniká **teplo (Qc)**, které lze rozdělit na část, která se spotřebuje na ohřev anody (Q) a katody (Qk) a na část která se z oblouku (Qa) část, odvede do okolního prostředí (Qv) dle vztahu : $Q_c = Q_a + Q_k + Q_v$ U metod svařování s **tavicí se elektrodou** jsou první dvě složky užitečné, neboť se využijí na tavení základního a přídavného materiálu, třetí složka jsou ztráty. Poměr části tepla využitého na tavení základního a přídavného materiálu k celkovému teplu oblouku je tzv. **účinnost svařovacího procesu (η)**, kterou lze vyjádřit vztahem : $\eta = (Q_a + Q_k) / Q_c$ tepelný příkon dodávaný do svarové lázně (q), $q = \eta (60 \cdot U \cdot I) / 1000$. vsv [kJ/cm] U [V], I [A] jsou svařovací napětí resp. proud a vsv [cm/min] je rychlost svařování

Přenos svarového kovu elektrickým obloukem

Obecně tento proces probíhá tak, že teplem z oblouku dochází k tavení konce elektrody a na čele elektrody se začne tvořit kapka tekutého kovu. Gravitace působí podle polohy svařování, povrchové napětí udržuje kapku kovu na konci elektrody, jeho snížení tak zlepšuje přenos. Při přenosu se dále výrazně uplatňuje působení elektromagnetických sil. Elektrický proud protékající soustavou elektroda – oblouk – základní materiál vytváří magnetické pole kolem elektrody, jehož silové účinky (Lorenzovy síly) působí v radiálním a axiálním směru. Působením této elektromagnetické síly, která převyšuje sílu gravitační, dochází k zaškrcování kapky (zmenšení průřezu), které způsobí náhlé zvýšení odtrhující síly a pokud je mezi kapkou a kovovou lázní dostatečná vzdálenost, dojde k odtržení kapky a jejímu vystřelení v osovém směru. tzv. „**PINCH EFEKT**“

Způsoby zapálení elektrického oblouku

Zapálení el. oblouku probíhá při napětích zdroje naprázdno, která bývají obvykle vyšší než při ustáleném hoření oblouku. Velikost zápalného napětí ($U = 60-70$ V) závisí na materiálu elektrod a ionizační schopnosti plynného prostředí. Pro běžné metody svařování je charakteristické napětí 10 – 50 V na oblouku a svařovací proud v rozmezí 10 – 2 000 A. \square krátkodobým dotykem elektrody a základního materiálu při nastaveném svařovacím proudu. (MMA, SAW, MIG/MAG)

- vysokonapěťovým vysokofrekvenčním ionizátorem (TIG, WIG)

- *dotykové zapalování tzv. startovacím proudem (TIG, WIG)*

Způsoby zapálení elektrického oblouku

- Se stoupající hodnotou napětí na oblouku roste délka elektrického oblouku
- Se zvýšením svařovacího proudu roste průřez oblouku, přenesený výkon a mění se způsob přenosu materiálu
- Změnou chemického složení ochranné atmosféry se mění také celkové ionizační napětí. Změna ionizačního napětí ovlivní stabilitu teplotu a napětí. stabilitu, velikost oblouku
- Nánosem tenké vrstvy obsahující prvky s nízkým emisním napětím (např. sodík) na katodu při svařování nepřímou polaritou lze dosáhnout snadného zapálení elektrického oblouku. Dojde tak ke snížení katodového úbytku napětí a po odpaření prvků katodovou skvrnou dojde ke zvýšení stability oblouku, neboť poklesne ionizační napětí
- Ohřátím katody se sníží emisní odpor materiálu a usnadní se zapálení Oblouku

Statická charakteristika elektrického oblouku

Změnou délky oblouku se mění **napětí** na oblouku

Se změnou **velikosti proudu** se mění rozměry jednotlivých oblastí el. oblouku (především anodové a katodové skvrny), ale také proudová hustota a elektrická vodivost sloupce oblouku.

Odpor sloupce oblouku je tedy nelineární a velkou měrou závisí na velikosti proudu.

Měřením napětí v závislosti na měnícím se proudu při konstantní délce oblouku získáme tzv. **statikou charakteristiku svařovacího oblouku**.

Její tvar lze odvodit z rovnice napěťových úbytků na oblouku : $U_{eo} = U_k + R \cdot I + U_a$

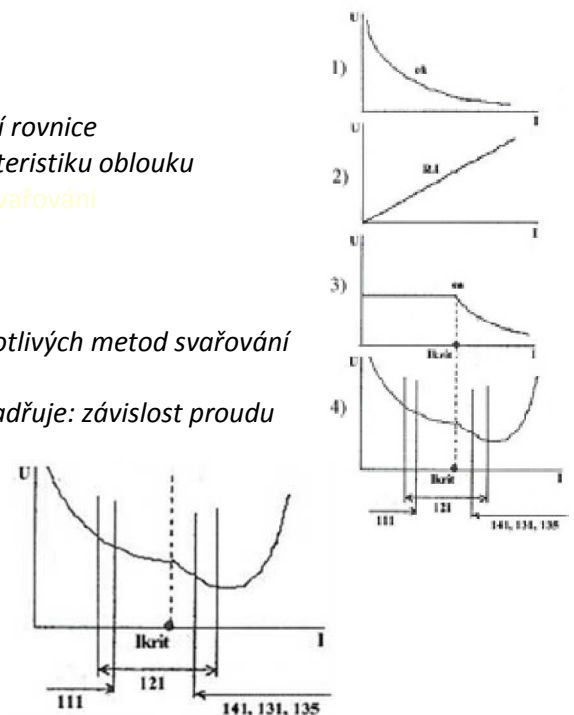
Napětí na oblouku U_{eo} je součtem dílčích napětí na katodové oblasti U_k , sloupci oblouku $s = R \cdot I$ a na anodové oblasti U_a

Vyneseme-li do diagramů závislosti jednotlivých členů předchozí rovnice na proudu, superpozicí dílčích průběhů získáme statikou charakteristiku oblouku

ČVUT, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování

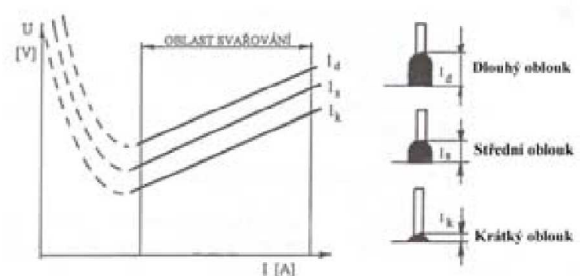
- 1) úbytek napětí na katodové oblasti
- 2) úbytek napětí na obloukovém sloupci
- 3) úbytek napětí na anodové oblasti
- 4) statická charakteristika oblouku s vyznačením působení jednotlivých metod svařování

Statická (neboli tzv. **voltampérová**) charakteristika oblouku vyjadřuje: závislost proudu na napětí oblouku při konstantní délce oblouku. Jednotlivé technologie svařování se projevují různými statickými charakteristikami závislými na parametrech prostředí, ve kterém oblouk hoří



Na vlastní tvar a polohu charakteristiky oblouku á značný vliv: chemického složení elektrody, průměr elektrody geometrie hrotu elektrody, složení plazmy oblouku

ČVUT, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování



Statická charakteristika elektrického oblouku

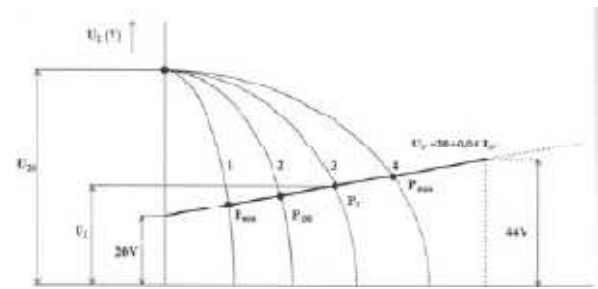
Z těchto důvodů se někdy používá tzv. **standardní (normalizovaná)** statická charakteristika oblouku, která je vyjádřena vztahy pro jednotlivé metody svařování

NORMALIZOVANÁ - Statická charakteristika el. Oblouku

Používá se především pro vyšetřování vlastností zdrojů proudu pro obloukové svařování – nahrazující stoupající větev statické charakteristiky oblouku, tzv. hodnoty normalizovaného pracovního napětí pro jednotlivé metody svařování.

Pro svařování el. obloukem obalovanou elektrodou (MMA) :

$U_2 = 20 + 0,04 I_2$ (V) platí pro hodnoty proudu do 600 A, dále zůstává $U_2 = \text{konst.} = 44 \text{ V}$



Svařování el. obloukem v ochranných atmosférách

Pro svařování el. obloukem neodtavující se wolframovou elektrodou v inertní ochranné atmosféře

(WIG, TIG) : $U_2 = 10 + 0,04 I_2$ (V) platí pro hodnoty proudu do 600 A, dále zůstává $U_2 = \text{konst.} = 34 \text{ V}$

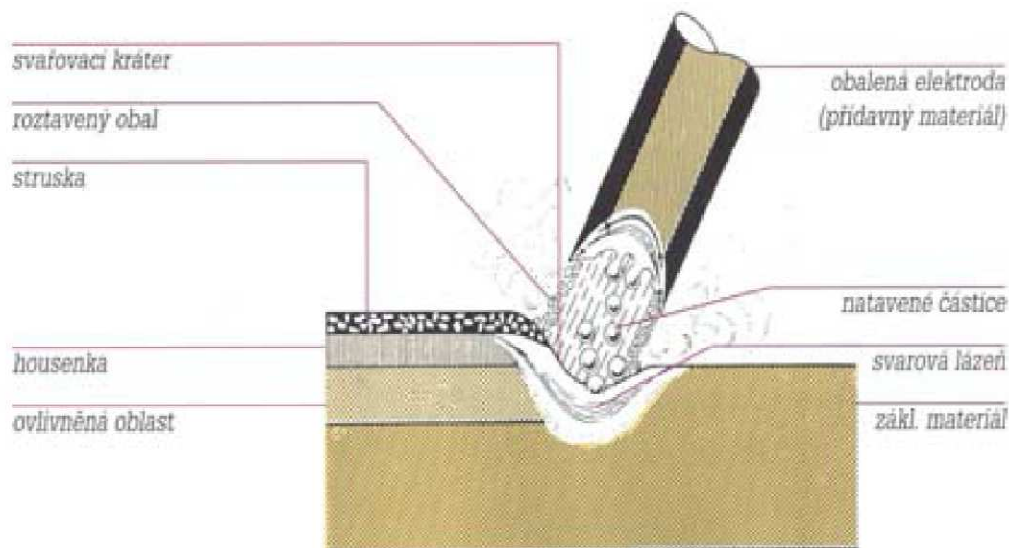
Pro svařování el. obloukem odtavující se kovovou elektrodou v ochranném plynu **(MIG, MAG) :**

$U_2 = 14 + 0,05 I_2$ (V) platí pro hodnoty proudu do 600 A, dále zůstává $U_2 = \text{konst.} = 44 \text{ V}$

Automatické svařování pod tavidlem (SAW) při klesající charakteristice **$U_2 = 20 + 0,04 I_2$ (V)** platí pro hodnoty proudu do 600 A, dále zůstává $U = \text{konst.} = 44 \text{ V}$ při konstantní napěťové charakteristice **$U_2 = 14 + 0,05 I_2$ (V)** platí pro hodnoty proudu do 600 A, dále zůstává $U_2 = \text{konst.} = 44 \text{ V}$

4) Ruční svařování elektrickým obloukem obalenými elektrodami

Princip metody



Tavné svařování, při kterém je využíván jako zdroj tepla elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a základním materiálem

Značení

Dle normy ČSN EN ISO 4063 :

111– Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (Metal arc welding with covered electrode)

MMA – Manual Metal Arc Welding – EU

Rozsah základních parametrů

Polohy svařování: všechny polohy (omezení pouze druhem elektrod)

*Druh základního materiálu: nelegované, nízkolegované i vysocelegované oceli, Ni, Cu, Al a jejich slitiny (případně i další materiály) **irenské technologie, skupina svařování***

Tloušťka základního materiálu (ekonom.) : 2 až 100 mm

Svařovací proud: 50 až 450 A

Napětí na oblouku: 15 až 40 V

Druh svařovacího proudu: stejnosměrný, střídavý

Průměr elektrod: 1,6 až 8 mm (obvykle 2 – 6,3 mm)

Vhodná statická charakteristika

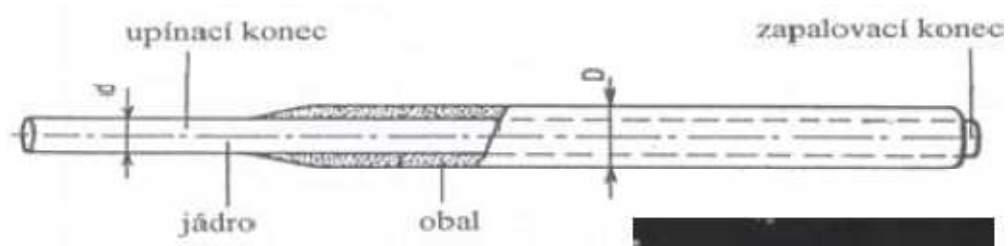
Zdroje: strná

Přenos kovu v oblouku

Při obloukovém svařování tavící se elektrodou dochází ve sloupci oblouku k přenosu roztaveného kovu elektrody do svarové lázně

- **Zkratový přenos**
- Bezkratový
- (Kapkový) přenos
- Sprchový přenos

Elektrody pro metodu 111



Operativní vlastnosti elektrod

Elektrody musí splňovat požadavky na mechanické vlastnosti svarového kovu a současně musí mít odpovídající operativní vlastnosti skupina svařování

1. Vhodnost elektrody pro různé pracovní polohy
2. Ovladatelnost elektrod v těchto pracovních polohách
3. Způsob odtavování elektrod a přechod kovu do svarové lázně
4. Vlastnosti a množství strusky

Rozdělení elektrod

PODLE POMĚRU D/d

(D = celkový průměr elektrody včetně obalu d = průměr jádra elektrody)

Tence balené, hodnota D/d je do 1,2

Středně tlustě balené, hodnota D/d je 1,2 až 1,45

Tlustě balené, hodnota D/d je 1,45 až 1,8

Velmi tlustě balené, hodnota D/d je nad 1,8

Funkce obalu elektrody

- **Fyzikální** (vytvoření plynové a struskové ochrany svarové lázně)
- **Metalurgická** (dezoxidace a rafinace svarové lázně) - O₂, S, P
- **Elektrická** (vytvoření příznivých podmínek pro zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku) – zlepšení ionizačních vlastností
- **Operativní** (zmenšení rozstříku, vhodnost pro svařování v polohách)
- **Legující** (legování svarové lázně prvky obsaženými v obalu elektrody)
-

PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ

- Stabilizační
- Rutilové (R)
- Rutil-celulozové (RC) Ústav strojírenské technologie, skupina svařování
- Rutil – kyselé (RA)
- Rutil – bazické (RB)
- Tlustostěnné rutilové (RR)
- Kyselé (A)
- Bazické (B)
- Celulozové (C)

Stabilizační elektrody

- Vyrábějí se převážně z alkálií nebo zemin, které při rozkladu v teplesvařovacího oblouku poskytují vysoce vodivé plyny (např. páry draslíku, sodíku, vápníku, titanu a jiných prvků).
- Kladné ionty těchto plynů přecházejí ve sloupci svařovacího oblouku směrem proti toku elektrického proudu a tím se jinak nevodivý sloupec stává vodivým, je stabilizován (ionizován) a hoří pravidelně a klidně.
- Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou podobné jako při svařování holým drátem – špatná jakost (velké množství kyslíku a dusíku), protože při odtavování nemá obal metalurgický účinek.
- Obal bývá tenký a zlepšuje pouze podmínky při procházení elektrického proudu elektrickým obloukem
- Odtavují se ve středních až velkých kapkách, množství strusky je nepatrné a svarový kov rychle tuhne.
- Elektroda přináší méně tepla a vyvolává menší pnutí.
- Lze jimi svařovat ve všech polohách při použití stejnosměrného proudu (a přímé polaritě).

Organické elektrody

- Obsahují větší podíl vhodných organických látek (celulóza, dřevitá moučka, škrob, rašelina a jiné), zvětšující množství ochranných plynů bez zvláštních ionizačních vlastností (pouze k ochraně proti okolní atmosféře).
- Lépe chrání svar před účinky kyslíku a dusíku
- Elektrody jsou snadno ovladatelné a odtavují se ve velkých kapkách. Bývají středně obalené a struska je a je málo.
- Svarový kov je hustě tekoucí a poměrně rychle tuhne, proto jsou elektrody snadno ovladatelné a jsou vhodné k překlenutí širokých mezer a nepřesně připravených spár.
- Jsou také vhodné pro svařování v polohách svislých a nad hlavou.
- Svarový kov má dobrou vrubovou houževnatost a malý obsah dusíku. Tažnost je nižší, praskavost malá a je proto výhodný při nečistých základních materiálech.

Struskotvorné elektrody

- Poskytují mnohem větší množství strusky než obaly stabilizační.
- Větší množství strusky je výhodné pro dokonalejší čištění (rafinaci) svarového kovu v tavné lázni a k její ochraně proti okolní atmosféře i proti rychlému chladnutí- příznivý vliv na jakost svarové housenky.
- Do obalů se přidávají speciální ionizační složky a vlastnosti svarových spojů získaných těmito elektrodami jsou velmi dobré. V současné době se používají především následující typy obalů:
- Bazické**
- Rutilové**
- Kyselé**

BAZICKÉ ELEKTRODY

- Obsahují Vápenec, Kazivec, Mramor, Fe prášek – zásadité reakce
- Nejpožívanější elektrody – zaručují svarový kov vysoké celistvosti a největší plastické vlastnosti
- Vhodné pro stejnosměrný proud (+) jinak oblouk hoří nestabilně vysoká rafinační schopnost strusky vysoká čistota svarového kovu
- Hustá struska umožňuje svařování v polohách
- Formování svaru je horší, výkonové vlastnosti nižší (menší závar)
- Tavením obalu vznikají zdraví škodlivé plyny – nutné odsávání
- Nevýhodou obalu je schopnost pohlcovat vlhkost – nutné vysoušení
- Struska má poněkud horší odstranitelnost z povrchu svaru

RUTILOVÉ ELEKTRODY

- Obsahují jako základní složku TiO_2 – oxid titaničitý (rutil) – až 50 % dále obal obsahuje silikáty, uhličitany vápníku nebo hořčíku, feroslitiny, případně některé organické látky
- Poskytuje velmi příznivou redukční struku.
- Vhodné pro svařování střídavým i stejnosměrným (+) proudem
- Vyznačují se velmi dobrými svařovacími schopnostmi, svarový kov má jen o málo menší pevnostní a plastické vlastnosti než bazický obal
- Rutilové elektrody jsou schopné překlenout i větší mezery – montáže
- Svařovací proces má požadovanou stabilitu ve všech polohách
- Existují kombinované obaly :
 - rutil - organický
 - rutil - kyselý
 - rutil – bazický

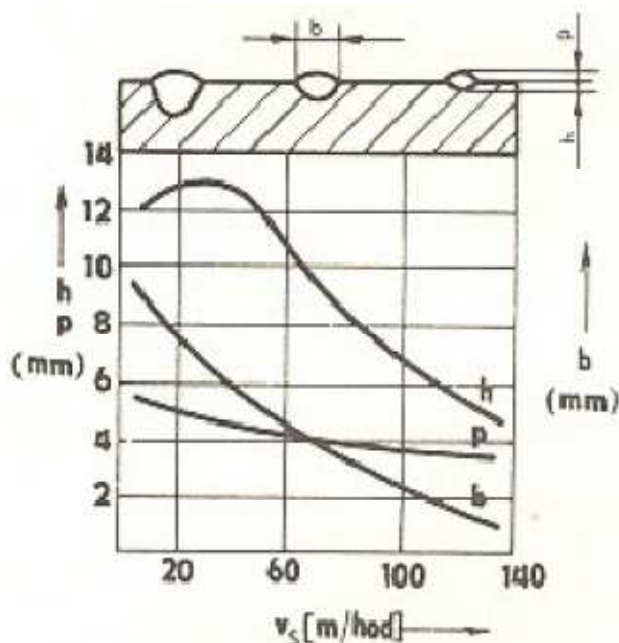
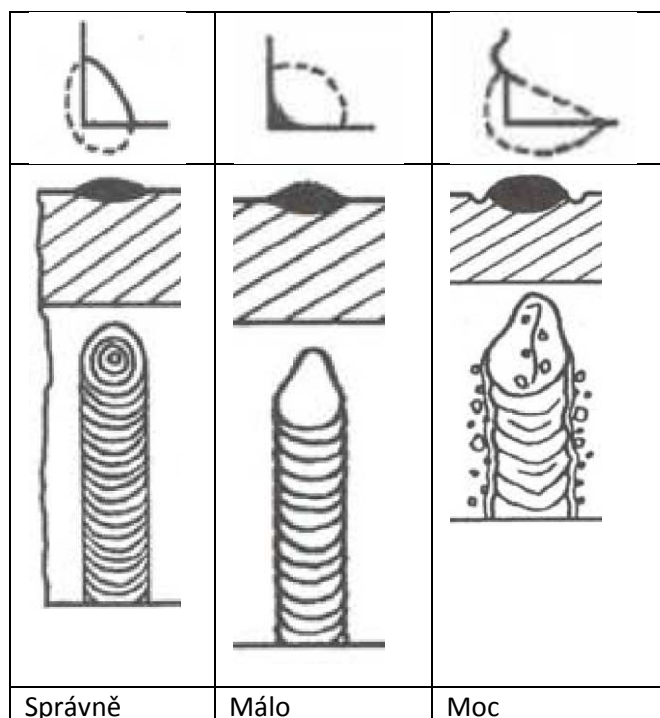
KYSELÉ ELEKTRODY

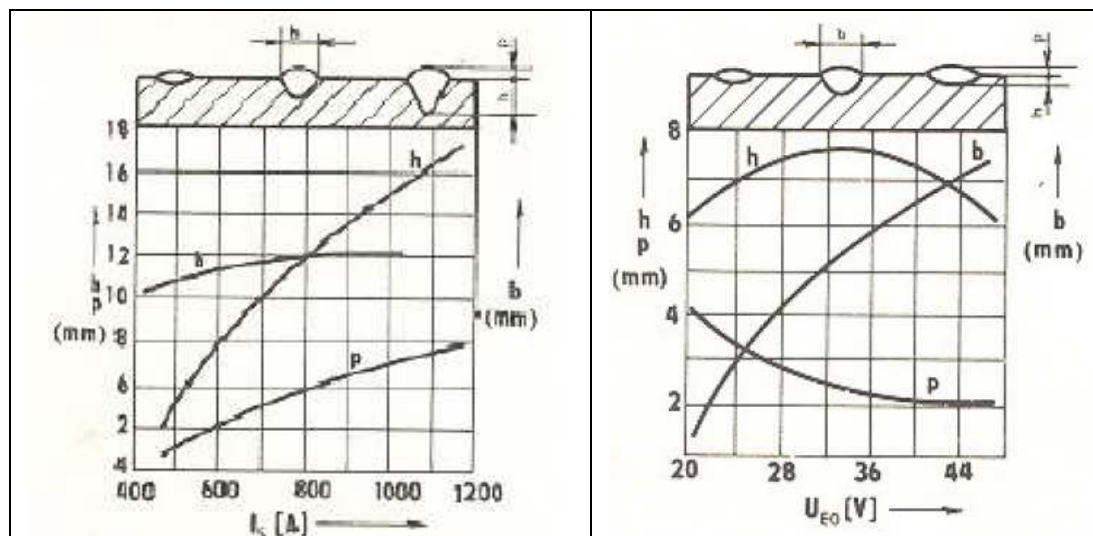
- Obsahují Fe a Mn rudy, křemičitany – komponenty s kyselou reakcí
 - Vhodné pro střídavý i stejnosměrný (-) svařovací proud
 - Snášejí vysoké proudové zatížení – vysoký odtavovací výkon a mají velký průvar
 - Zhoršené operativní vlastnosti pro svařování v polohách **přímá svařování**
 - Svar. kov náchylný na vznik krystalických trhlin
 - Jejich použití se obvykle limituje pevností základního materiálu do max. 440 MPa
- Tento druh obalu, který byl ještě před několika desetiletími dominantní, je v současné době víceméně vytlačen elektrodami s obalem rutilovým a bazickým

Svařovací parametry

Pro správnou tvorbu svarové housenky je nejdůležitější správné nastavení následujících parametrů:

- ❑ **Svařovací proud**
- ❑ **Svařovací napětí**
- ❑ **Svařovací rychlost**





5) Ochranné plyny používané při svařování

Ochrana svarové lázně

☐ Jedním z hlavních problémů při svařování je, že kovy reagují s okolní vzdušnou atmosférou rychleji, když stoupá jejich teplota.

☐ Metoda, jak chránit horký kov před atakem atmosféry, je druhým nejdůležitějším rozlišujícím znakem.

Princip

Při svařování v ochranných atmosférách se ochranný plyn nevytváří při hoření oblouku, ale dodává se pod malým tlakem ze zásobníku (z ocelové tlakové lahve nebo z centrálního rozvodu) tak, že plyn elektrodu neustále obtéká a současně překrývá a chrání roztavené svarové plochy a tavnou lázeň před okolní atmosférou.

Rozdělení ochranných plynů pro svařování

Podle chemické aktivity:

1) Inertní („netečné“) – nereagují se svarovou lázní

☐ skupina I – inertní plyny (Ar, He, směsi Ar + He)

2) Aktivní účastní se reakcí ve svarové lázni

☐ skupina M – oxidační plyny na bázi argonu (směsi Ar + CO₂, Ar + O₂, Ar + He + CO₂ + O₂)

☐ skupina C – oxidační plyny na bázi oxidu uhličitého (CO₂, směsi CO₂ + O₂)

☐ skupina F – nereagující plyny (N₂) – tzv. **formovací plyny**

☐ skupina R – redukční plyny na bázi argonu (směsi Ar + H₂, N₂ + H₂)

ARGON – Ar

je inertní (netečný) - nevytváří s žádným prvkem chemické sloučeniny

Charakteristika:

jednoatomový vzácný plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu

Výroba:

-Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu

☐ V současné době vyráběná a běžně používaná čistota argonu je až 99,999% - neboli 5.0 (obvykle 4.6 a 4.8)

☐ Pro účely svařování se argon dodává v tlakových lahvích v plynném stavu a s plnicím tlakem 15 až 20 MPa (případně ve svazcích tlakových lahví apod.)

Vlastnosti:

☐ Dobře ionizuje – (nízký ionizační potenciál 15,8 eV) = možnost vysokého proudového zatížení, dobře zapaluje el. oblouk, vyšší intenzita záření el. Oblouku

☐ Hůře vede teplo – (malá tepelná vodivost) = široký závar na povrchu, úzký v kořeni

☐ Těžší než vzduch – (cca 1,4x, měrná hmotnost je 1,784 kg/m³) = dobrá ochrana svarové lázně (především v poloze PA) - malá citlivost na proudění vzduchu

☐ Tvoří základ směsných plynů pro svařování

HELIUM – He

je inertní (netečný) - nevytváří s žádným prvkem chemické sloučeniny

Charakteristika:

jednoatomový inertní plyn, bez barvy a zápachu

Výroba:

-Vyrábí se separací z některých druhů zemního plynu, kde se He vyskytuje v množství kolem 1%. ☐ -----

-Helium se vyrábí s vysokou čistotou (min 4.6) s limitovaným obsahem nečistot (kyslíku, dusíku a vodní páry od 5 do 20 ppm).

☐ Pro účely svařování se helium dodává v tlakových lahvích v plynném stavu, obdobně jako argon (plnicí tlak 20 MPa)

Vlastnosti:

- ☐ Hůře ionizuje – (vyšší ionizační potenciál 24,6 eV)
= horší zapalování oblouku, nutné vyšší napětí na oblouku, oblouk je nestabilní při větší délce
- ☐ Dobře vede teplo – (velká tepelná vodivost) = vyšší teplota lázně, širší závar, vyšší rychlost svařování, lepší odplynění lázně
- ☐ Lehčí než vzduch – (cca 7x lehčí než vzduch a asi 10x lehčí než argon, měrná hmotnost je 0,178 kg/m³) = snižuje efektivitu plynové ochrany, nutný větší průtok plynu
- ☐ Nepoužívá se v takové míře jako samostatný plyn pro ruční a poloautomatické procesy svařování, ale spíše ve směsích s argonem

OXID UHLÍČITÝ – CO₂

je silně oxidační plyn – řadí se mezi tzv. aktivní plyny

Charakteristika:

- ☐ nehořlavý, nejedovatý a bezbarvý plyn, specifické kyselé chuti, jehož bod varu je –78,5 °C.
- ☐ V tuhém stavu je bílý a tvrdý (používá se pro výrobu suchého ledu např. na tryskání).
- ☐ Při pokojové teplotě se prudce odpařuje a vyvíjí se plynný CO₂.
- ☐ Není jedovatý, avšak při vyšší koncentraci ve vzduchu brání dýchání (**15 %**)
- Výroba:** ☐ vzniká jako „odpadní produkt“ při výrobě ostatních plynů
- ☐ Tlakem ho je možné zkapalnit (např. při 0 °C tlakem 3,6 MPa).
- ☐ Až do teploty 700 °C je CO₂ stabilní a chová se jako inertní plyn (chemicky netečný).
- ☐ Při vyšších teplotách se však rozpadá na oxid uhelnatý (CO) a kyslík (O₂), takže působí oxidačně (dá se říci, že 10 % CO₂ má potom stejný účinek asi jako 1% O₂).
- ☐ Pro svařování se používá CO₂ s čistotou min. 99,5 %. Zbytek tvoří nečistoty a vlhkost, která nesmí být větší než 0,04 %.
- ☐ V tlakových lahvích (obvykle o obsahu 20 a 40 l) je plyn uchováván v kapalném stavu pod tlakem 5 MPa.
- ☐ CO₂ se odebírá z lahve pomocí jednostupňového redukčního ventilu, přičemž kapalný CO₂ mění skupenství a přechází do plynného stavu.
 - Při odpařování a expanzi plynu se odebírá z okolí teplo, což může při intenzivním odběru způsobit snížení teploty, které vede k možnému zamrznutí ventilů.
 - Proto se na redukční ventily na CO₂ používají proti zamrznutí elektrické ohříváče jako jejich součást a jsou připojené na zdroj svařovacího proudu.
- ☐ Velkou předností CO₂ jako ochranného plynu je především jeho nízká cena.

Vlastnosti:

- ☐ Hůře ionizuje – (i přes nízký ionizační potenciál 14,4 eV)
= nutné vyšší napětí
- ☐ Dobře vede teplo = vysoký přenos tepla do svarové lázně + teplo získané exotermickými oxidačními reakcemi zajišťuje velmi dobré natavení svarových hran, hluboký průvar s oválným profilem svarové housenky a dobré odplynění svarové lázně
- ☐ Těžší než vzduch – (asi 1,5 x měrná hmotnost je 1,976 kg/m³) = dobrá ochrana lázně (především v běžných polohách PA, PB, PC)
- ☐ omezená oblast optimálních parametrů (úzká pracovní oblast), - velký rozstřik
- ☐ nelze dosáhnout sprchového přenosu (způsobuje velké povrchové napětí na konci odtavující se elektrody)

SMĚSNÉ PLYNY

- ☐ Jednokomponentní ochranné plyny nezaručují při svařování některých kovů a slitin požadovaný stabilní svařovací proces a pravidelný přenos kovu v elektrickém oblouku
- ☐ Proto se v dnešní době často nahrazují směsmi plynů **na bázi argonu**

☐ Do argonu se v zájmu zvýšení stability oblouku přidávají zejména plyny s oxidačním účinkem (aktivní – CO₂, O₂), nebo helium z důvodů zvýšení tepelného výkonu.

Výhody použití směsných plynů

- ☐ Zvýšení stability procesu svařování
- ☐ Snížení rozstříku tekutého kovu
- ☐ Zlepšení formování svarové housenky
- ☐ Zvýšení produktivity svařování

Příměsy směsných a formacích plynů

DUSÍK – N₂

- ☐ Nereagující plyn
- ☐ Nosný plyn formovacích směsí, příp.příměs pro speciální účely (např. duplex)
- ☐ Riziko vzniku nitridů [T, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování](#)
- ☐ Mírně lehčí než vzduch

VODÍK – H₂

- ☐ Redukční plyn
- ☐ Používá se pouze jako **příměs** (do směsných a formovacích plynů)
- ☐ Dobře vede teplo – vyšší teplota lázně, širší závar, vyšší rychlost svařování
- ☐ Riziko vodíkového praskání u citlivých materiálů (max. obsah do 10 %)
- ☐ Lehčí než vzduch

KYSLÍK – O₂

- ☐ Oxidační plyn
- ☐ Používá se pouze jako příměs, má silný oxidační účinek (cca dvojnásobek CO₂)
- ☐ Slabě ionizuje
- ☐ Dobře vede teplo – vyšší teplota lázně, snižuje povrchové napětí svarové lázně, zlepšuje přechod do základního materiálu
- ☐ Vyšší náchylnost ke vzniku vad při zvyšování jeho obsahu ve směsi (**max. 5 %**)

FORMOVACÍ PLYNY pro ochranu kořene svaru

- ☐ Používají proti oxidaci kořene svaru (tzv. sekundární ochrana) a vysokovyhřáté oblasti okolního základního materiálu.
- ☐ Lze použít inertní (Ar, He), nereagující (N - dusík) nebo redukční plyny (směsi argonu nebo dusíku s vodíkem – do 10 % H₂)
- ☐ Sekundární kořenová ochrana vyžaduje ve většině případů použití svařovacích přípravků nebo utěsnění vnitřních prostorů svařované přípravek, součásti

Výhody Argonových směsí

- ☐ Menší nebezpečí propálení tenkých plechů
- ☐ Většinou menší vytváření
- ☐ Méně rozstříku a strusky
- ☐ Vyšší rychlost svařování

Výhody ochranných plynů obsahujících He ve srovnání s Ar

- ☐ Zlepšení geometrie svarů
- ☐ Svar je širší a plošší
- ☐ Závar je hlubší a oblejší
- ☐ Vyšší rychlost svařování - a proto: [é technologie, skupina svařování](#)
 - ☐ kratší doba hoření oblouku
 - ☐ Menší sklon ke tvorbě pórů - a proto:
 - ☐ další zpracování je nenáročné nebo žádné
 - ☐ Snížení spotřeby přídavných materiálů
 - ☐ Zčásti i lepší mechanické vlastnosti výrobků

Výhody svařování v ochranných atmosférách

- ☐ vysoká produktivita práce
- ☐ Možností svařovat ve všech polohách
- ☐ Umožnění snadné automatizace a robotizace svařovacího procesu
- ☐ Široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů
- ☐ Velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení
- ☐ Dobrá ochrana svarové lázně kvalitou svaru
- ☐ Zlepšení hygieny prostředí

Barevné značení plynů

1) Podle vlastností plynů

- ☐ jedovaté a žíravé plyny **ŽLUTÁ**
- ☐ hořlavé **ČERVENÁ**
- ☐ oxidační **SVĚTLE MODRÁ**
- ☐ inertní **JASNĚ ZELENÁ**

Barva "Jasně zelená" nesmí být používána pro lahve na vzduch určený k inhalaci /tj. u dýchacích přístrojů/ Barevné značení se provádí podle hlavního nebezpečí

2) Značení plynů

Acetylen **KAŠTANOVÁ**

Kyslík **BÍLÁ**

Oxid dusný **MODRÁ**

Argon **TMAVĚ ZELENÁ**

Dusík **ČERNÁ**

Oxid uhličitý **ŠEDÁ**

Helium **HNĚD**

6) Svařování metodou MIG/MAG

☐ **MAG** (Metal active gas)

- odtavující se elektroda, kde ochranný plyn se aktivně podílí na tvorbě svarového kovu

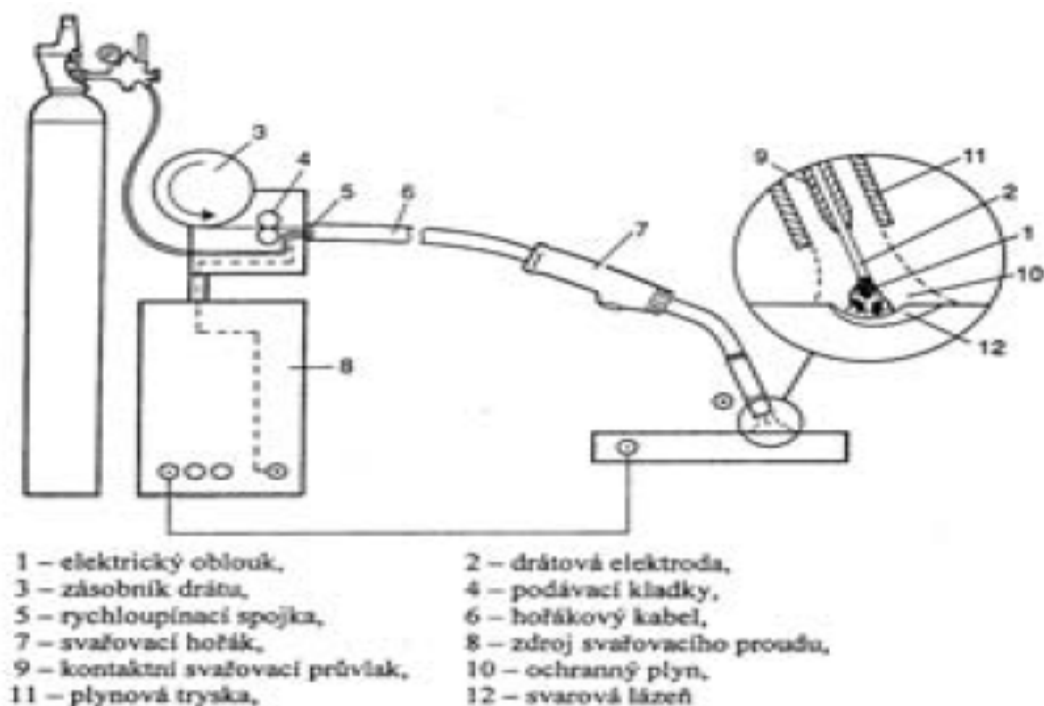
☐ **MIG** (Metal inert gas)

- odtavující se elektroda, kde ochranný plyn nereaguje při tvorbě svarového kovu

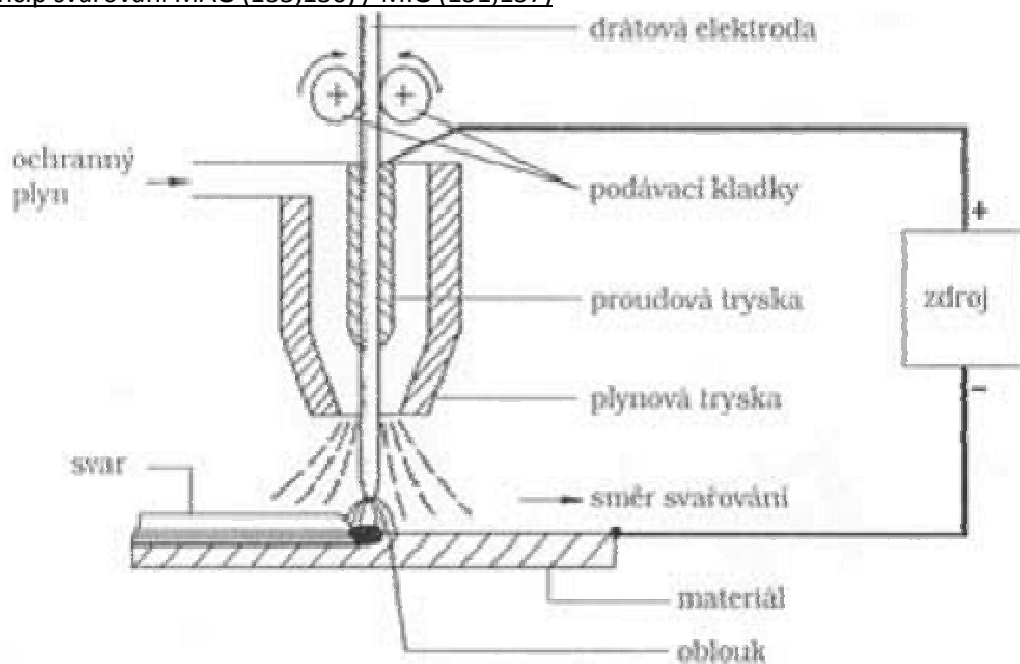
Definice:

☐ **Tavné obloukové svařování** taví se kovovou elektrodou, kdy elektrický oblouk a oblast svaru jsou chráněny před okolní atmosférou vrstvou ochranného plynu přiváděného z vnějšího zdroje.

PRINCIP METODY



Princip svařování MAG (135,136) / MIG (131,137)



ROZSAH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

Polohy svařování: všechny

Tloušťka zákl. Materiálu: 0,8 až 40 mm

Druh základního materiálu:

MAG: nelegované a nízkolegované ocele

MIG: vysocelegované ocele, Al, Cu, Ni a jejich slitiny

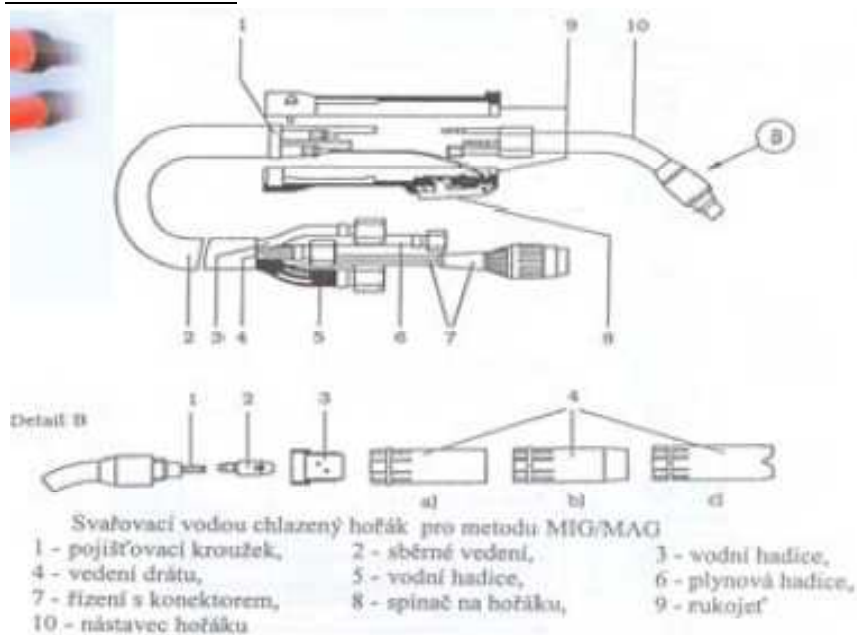
Přenos kovu: zkratový, sprchový

Druh svařovacího proudu: Stejnoseměrný (polarita nepřímá – elektroda na + pólu)

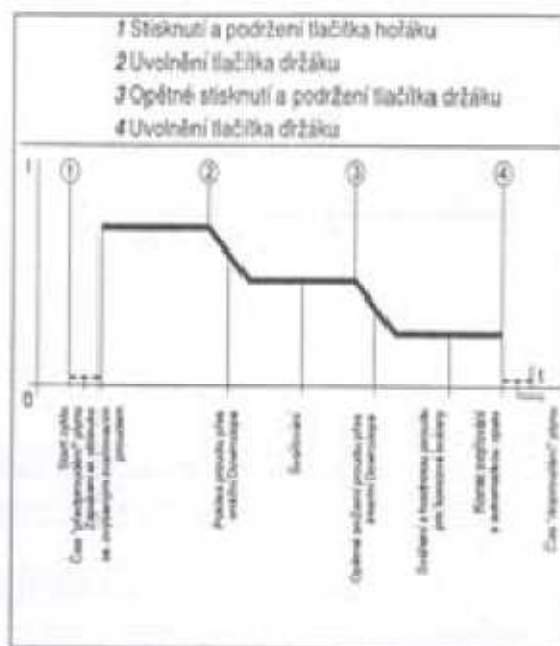
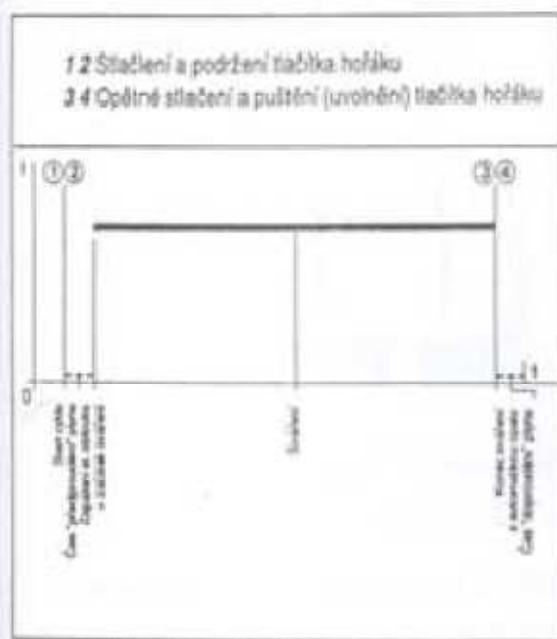
Průměry svařovacích drátů: 0,6 až 2,6 mm (obvykle od 0,8 do 1,2 mm)

Poloautomatický proces – stat. charakteristika zdroje – plochá

SVAŘOVACÍ HOŘÁK



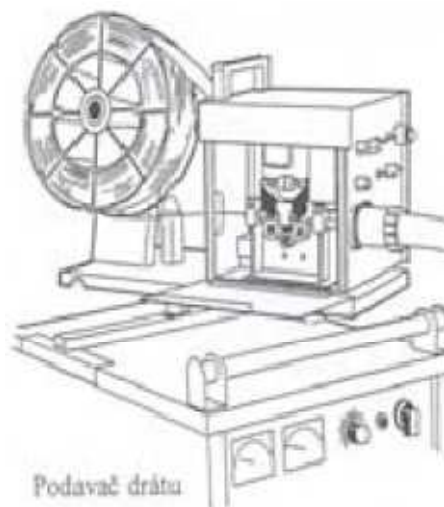
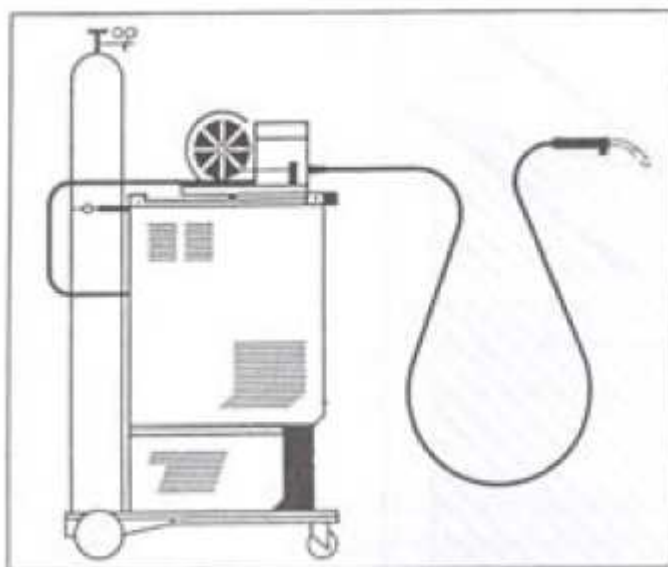
Řízení průběhu svařování



Dvoutaktní provoz

Zásobníky a podavače drátu

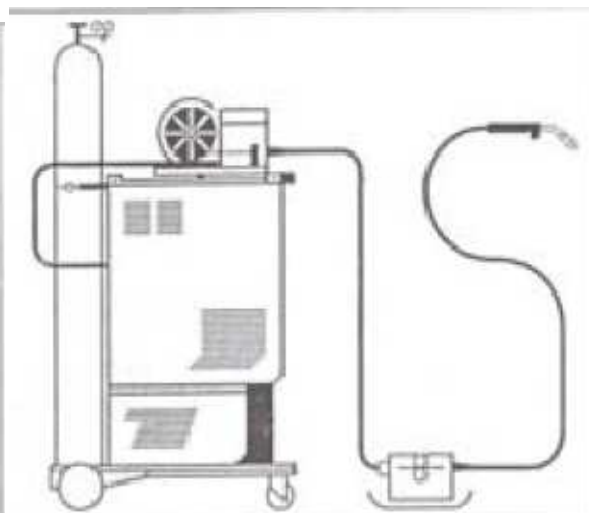
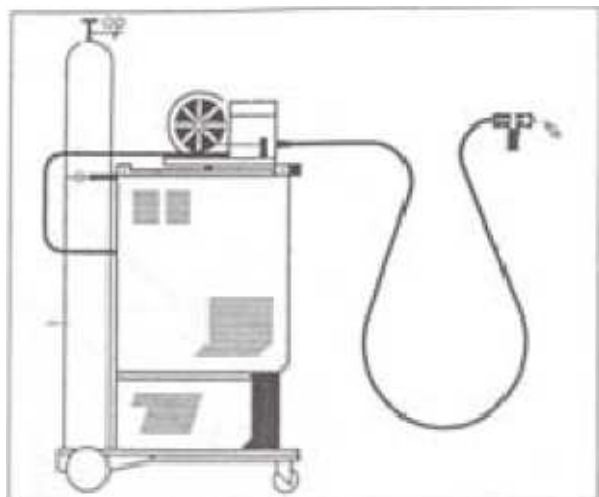
Čtyřtaktní provoz



Klasické uspořádání svařovacího zdroje a podávacího zařízení

Uspořádání zdroje s push-pull podáváním

Uspořádání zdroje s mezipohonem



Typy podávacích kladek

Lichoběžníková hladká

Použití : Fe, Oceli, Cr-Ni

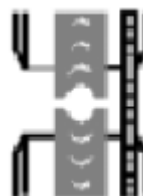
Nelegované, nízko i vysocelegované plné dráty

Půlkruhová hladká

Použití : Hliník, bronz , CuSi3

Půlkruhová drážkovaná

Použití : Plné i trubičkové dráty z různých slitin

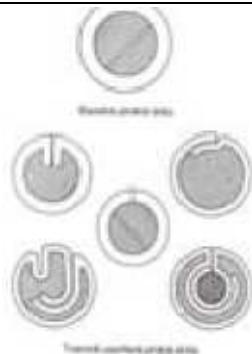


Podávání drátu:

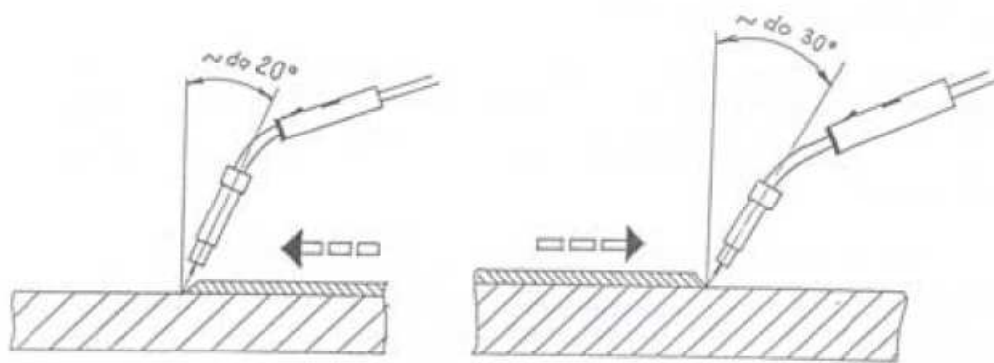
Kladkový posuv

Push-Pull systém podávání

PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY – plné a trubičkové dráty



TECHNIKA SVAŘOVÁNÍ



**Svařování vpřed
(doleva) - tlačné**

**Svařování vzad
(doprava) - tažné**

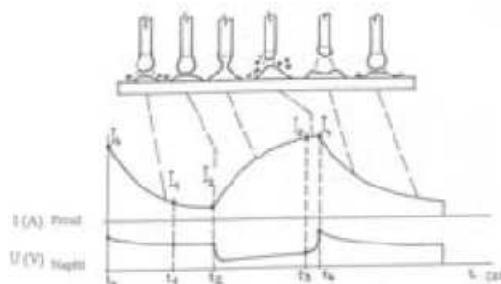
VÝHODY SVAŘOVÁNÍ MIG/MAG

- ▣ Neobalený svařovací drát je možné navinout na cívky a plynule ho dodávat do svarové lázně bez časté a nepohodlné výměny svařovacích elektrod (poloautomatický způsob svařování)
- ▣ Svařovací proud je možné dodávat na drát až do těsné blízkosti jeho odtavovacího konce pomocí třecích kontaktů (kontaktních špiček hořáku) - Protože proudem zatížená část drátu je krátká a bez obalu, je možné dosáhnout na 1 mm² průřezu drátu mnohem větší proudovou hustotu
- ▣ Možnost použití velkého rozsahu svařovacích parametrů pro jednu tloušťku svařovacího drátu (elektrody)
- ▣ Mechanizace svařovacího procesu je značně zjednodušená, protože zde není obal přídavného materiálu, bránící manipulaci a také díky způsobu zapalování elektrického oblouku

Typy přenosu svarového kovu

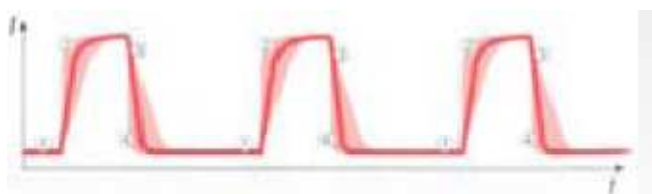
Zkratový přenos

- Krátký oblouk - Ar + CO₂ (do 25%)
- Ar + O₂ (do 12%)
- Ar + CO₂ (do 15%) + O₂ (do 7%)



Sprchový přenos

- Bezzkratový - Ar + CO₂ (do 20%)
- dlouhý oblouk - Ar + O₂ (do 10%)
- Ar + CO₂ (do 15%) + O₂ (do 5%)
- IS = (120) až 500 A
- UEO = 20 až 36 V



Impulzní přenos

- impulsní přenos** - Ar + CO₂ (do 15%)
- Ar + O₂ (do 8%)
- Ar + CO₂ (do 5%) + O₂ (do 5%)



7) Svařování metodou TIG

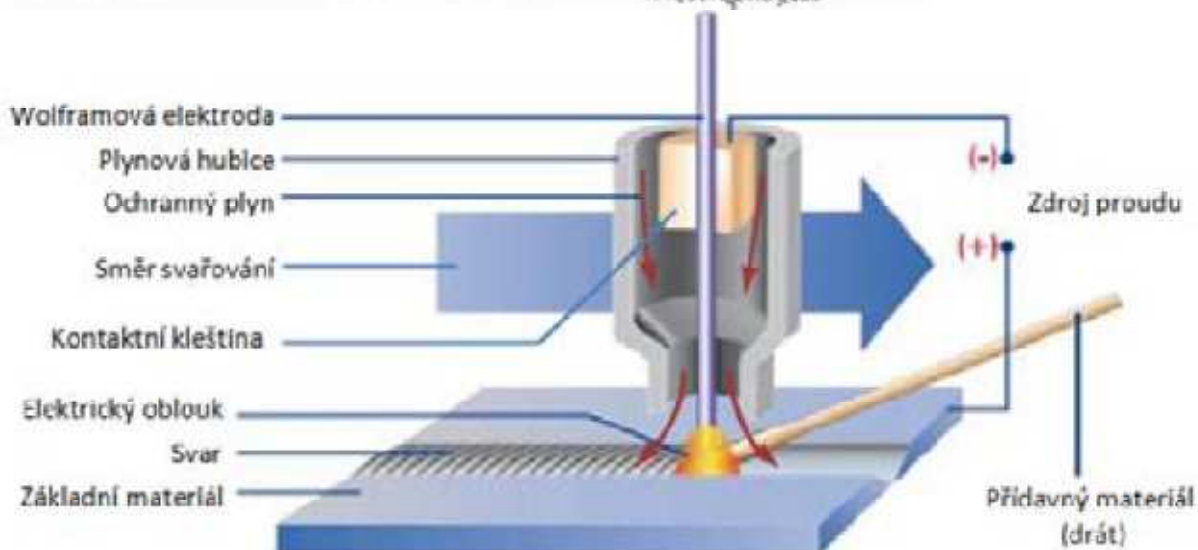
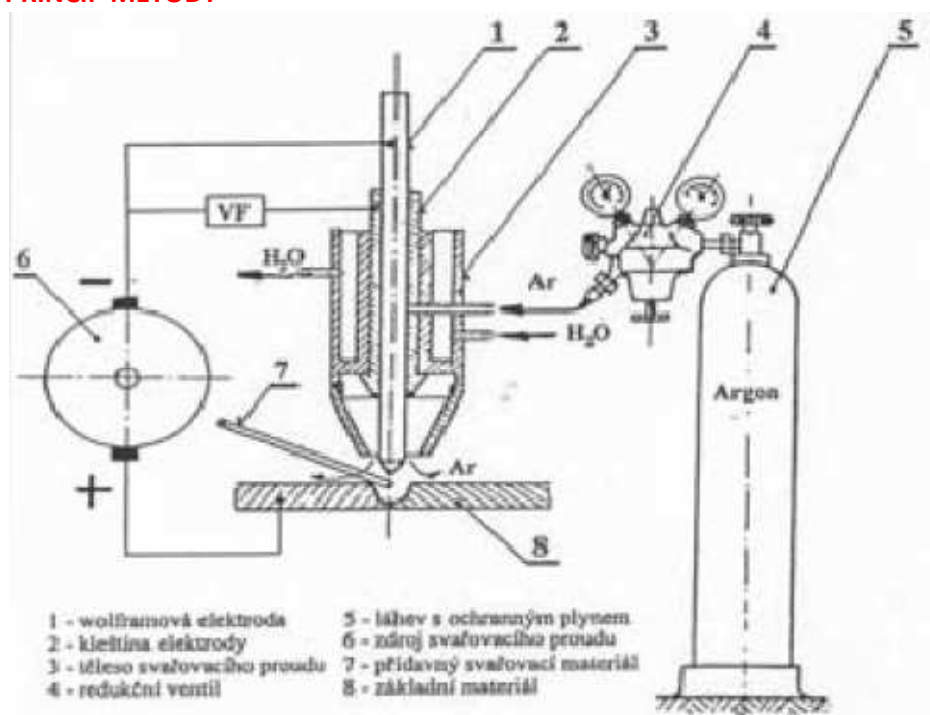
☐ **WIG , TIG** (Wolfram inert gas -

Tungsten inert gas) - Wolframová neodtavující se elektroda, kde ochranný plyn nereaguje při tvorbě tvarového kovu.

Definice:

☐ Tavné svařování, při kterém se používá netavící se elektroda čistě wolframová nebo s aktivující přísadou. El.oblouk a oblast svaru je chráněna inertním plynem. Podle potřeby může být použit přidavný materiál

PRINCIP METODY



ROZSAH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

Polohy svařování : všechny

Tloušťka základního materiálu : 0,5 až 10 mm

Druh základního materiálu: všechny!!!: legované ocele, Al, Mg, Cu, Ni, Ti, Ag a jejich slitiny

Druh svařovacího proudu : Stejnoseměrný (polarita přímá i nepřímá) i střídavý

Rozsah svařovacího proudu : 10 až 500 A

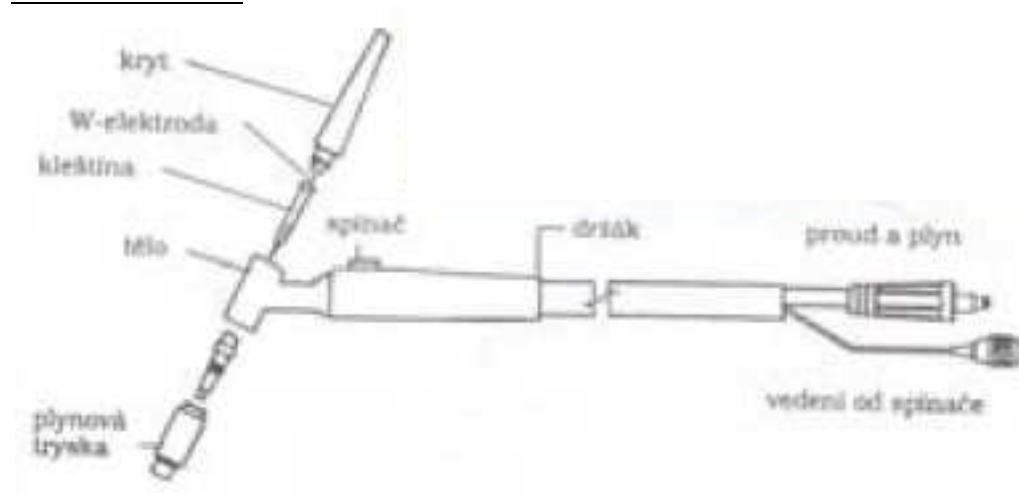
Průměry wolframových elektrod : 1 až 8 mm (obvykle od 2 do 4 mm)

Průměr přídavného materiálu: 0,8 – 4 mm (délka 1m) plné, plněné 0,6 – 2,4 mm (cívky)

Používané ochranné plyny: inertní (Ar, He)

Vhodná statická cha. Zdroje: strmá

SVAŘOVACÍ HOŘÁK



Značení Wolframových elektrod

☐ Netavící se elektrody jsou normalizovány v **ČSN EN ISO 6848** - složení, - barevné značení

☐ Vyrábějí se v průměrech od 0,5 do 10 mm (obvykle používané průměry jsou 1,6 – 3,2 mm) a v délkách od 50 do 175 mm

Značení elektrod se řídí následujícími zásadami:

☐ první písmeno značí základní prvek elektrod – **W** (Wolfram)

☐ druhé písmeno charakterizuje přísadu oxidů

- P (čistě wolframová elektroda bez oxidů – jako Pure = čistý)

- T (oxid thoričitý ThO₂)

- Z (oxid zirkoničitý ZrO₂)

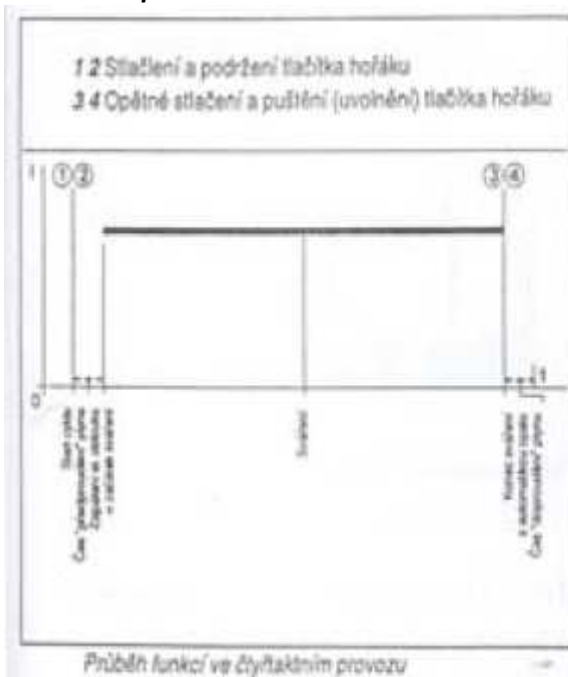
- L (oxid lantaničitý La₂O₃)

- C (oxid ceričitý CeO₂)

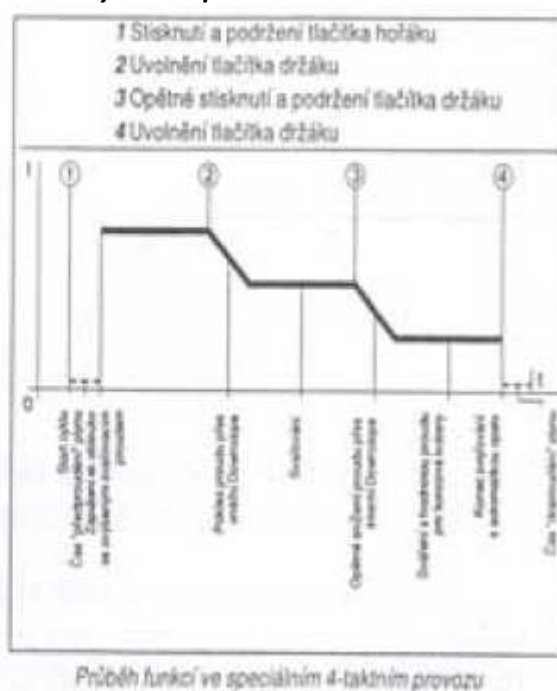
☐ číslo u základní značky udává desetinásobek koncentrace oxidů

Řízení průběhu svařování

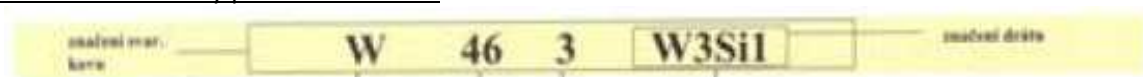
Dvoutaktní provoz



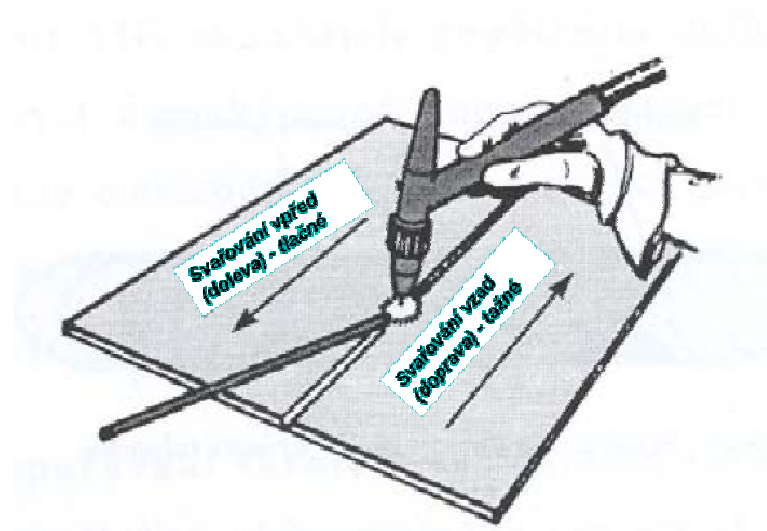
Čtyřtaktní provoz



Přídavné materiály pro TIG svařování



TECHNIKA SVAŘOVÁNÍ



Zapálení oblouku

Elektrický oblouk se zapaluje buď :

- bezdotykově**, vysokonapěťovým impulsem (ionizátorem)
- dotykově** (tzv. lift arc) s přímým dotykem elektrody o pomocnou destičku (náškrabový start)

TIG = Wolframová elektroda + inertní plyn

☐ *Ochrana Wolframové elektrody*

☐ *Ochrana svarové lázně*

ARGON a HELIUM

☐ *zlepšují vnášení tepla do materiálu, skupina svařování*

VODÍK

☐ *pro lepší průvar, stabilitu oblouku a především pro austenitické a vysoce legované oceli.*

NO nebo O2

☐ *stabilizující oblouk*

VÝHODY SVAŘOVÁNÍ TIG (WIG)

☐ *Pravidelné formování kořene i povrchu svaru, vysoká celistvost, příznivé mechanické a fyzikálně-chemické vlastnosti vytvořených spojů*

☐ *Nedochází k oxidaci a propalu prvků v kovu, tím docílíme stejného chemického složení svarového kovu, jako má základní materiál*

☐ *Svarová lázeň je dokonale chráněna ochranným plynem od účinků okolní atmosféry, svarové spoje jsou pevnější, houževnatější a korozivzdornější než svarové spoje svařované většinou jiných způsobů*

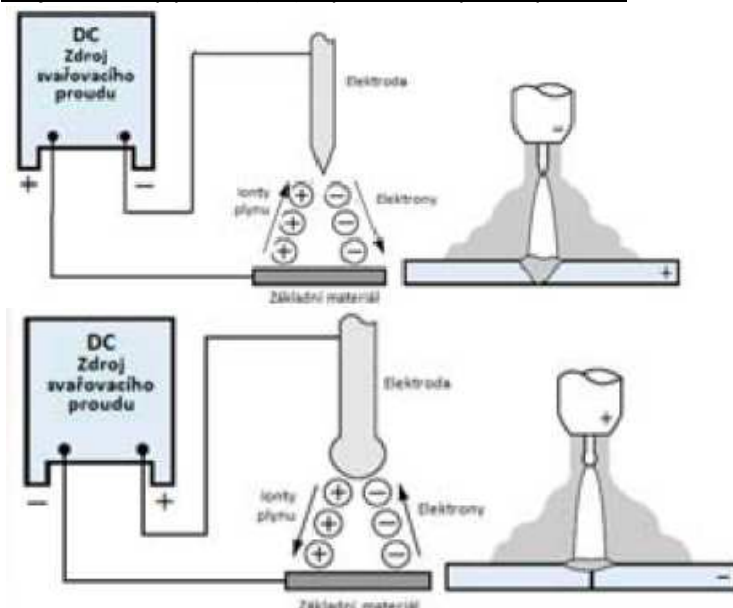
☐ *Svarová lázeň je dobře viditelná a poměrně dobře ovladatelná*

☐ *Svařovat lze ve všech polohách a povrch svarové housenky nepotřebuje další opracování*

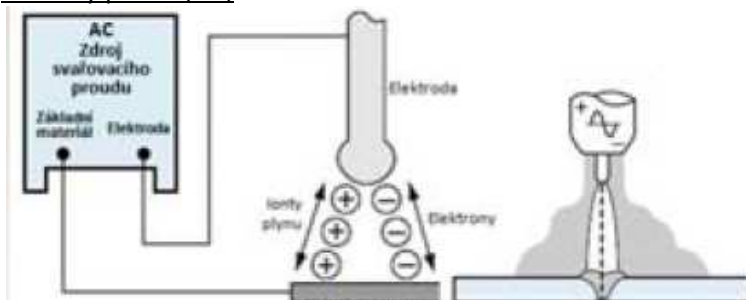
☐ *Snadná automatizace, mechanizace a robotizace svařovacího procesu*

Nevýhoda: - nižší produktivita

Stejnoseměrný proud (DC) – přímá a nepřímá polarita

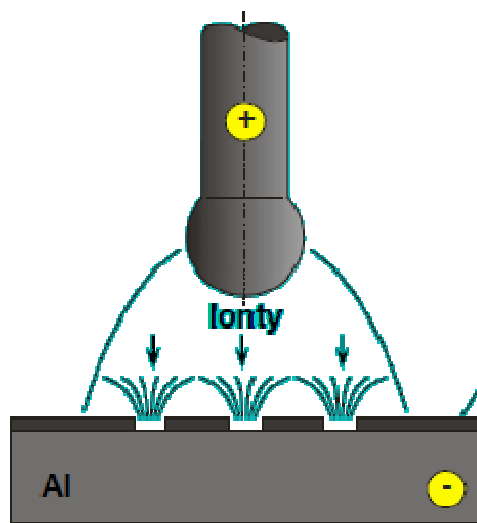


Střídavý proud (AC)

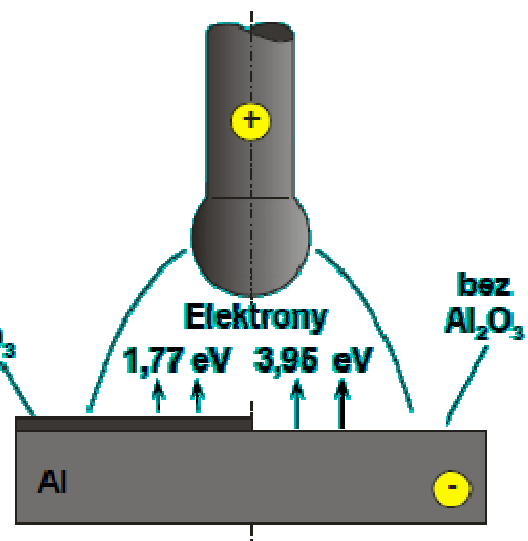


Čistící účinek elektrického oblouku

Čištění působením kinetické energie



Emise elektronů



8) Svařování pod tavidlem

Definice metody:

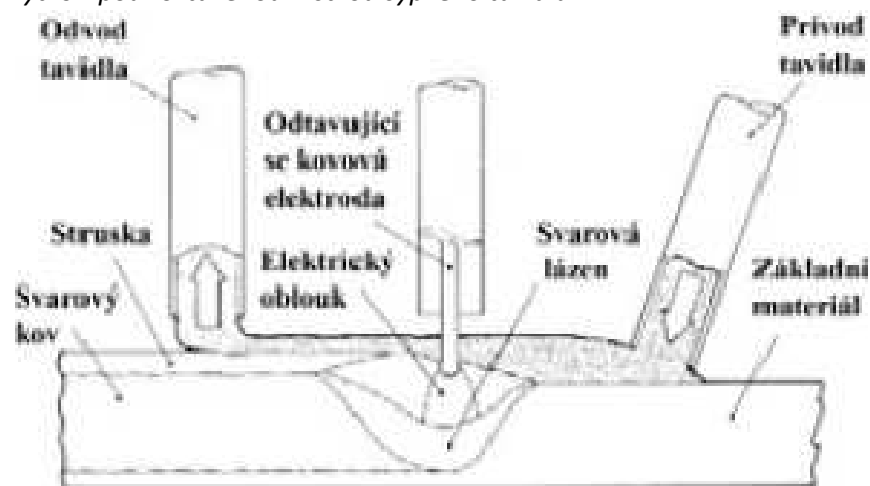
Tavné svařování, při kterém je využíván jako zdroj tepla elektrický oblouk hořící pod vrstvou práškového tavidla, jehož část se taví a vytváří strusku. Přídavný materiál se používá ve formě drátu, plněného drátu nebo páskových elektrod.

Značení metody

SAW – Submerged Arc Welding -zkratka používaná v EU i dle ASM

Princip metody

Elektrický oblouk hoří mezi elektrodou (holý kovový drát) a základním materiálem v dutině, která se vytvoří pod roztavenou vrstvou sypkého tavidla.



Rozsah základních parametrů

Poloha svařování: PA (vodorovná shora), do úžlabí – nebo mírně skloněná cca do 7° od této polohy, případně poloha PB

Minimální ekonomická délka svaru: nad 1000 mm

Rozsah tloušťek základního materiálu: 3 až 100 mm, případně i více (úzký úkos)

Rozsah svařovacích rychlostí: 15 až 120 m/hod (výkon navaření 2–100 kg/hod)

Druh svařovacího proudu: střídavý i stejnosměrný

Průměr přídavného materiálu: 2 až 8 mm (je možné použít i průměr 1,6 mm a extrémně i 13 mm), případně pásy

Systém regulace zdroje: CC i CV

Druh základního materiálu: všechny druhy konstrukčních ocelí, vysokolegované oceli, slitiny Ni, Al, Cu

Používaná zařízení – Zdroje svařovacího proudu

Pro svařování pod tavidlem je potřeba používat **výkonné zdroje svařovacího proudu**, které umožňují dosažení potřebných svařovacích parametrů (až 2000 A) + automatické podávání svařovacího drátu

Jako zdroj svařovacího proudu se nejčastěji používají:

☑ **Točivé (rotační) svařovací zdroje:**

- Velmi často se v těchto případech spojují paralelně dva svařovací zdroje stejného typu, pro zvýšení celkového svařovacího výkonu.

- Při svařování musí být na regulátorech obou zdrojů nastaven stejný svařovací proud.

☑ **Usměrňovače :**

- Usměrňovače mají výrazně vyšší účinnost oproti rotačním svařovacím zdrojům a regulační obvody jsou symetrické (jednotlivé fáze sítě jsou zatíženy rovnoměrně) a nezpůsobují nárazy do sítě

❑ Transformátory :

- Transformátory se používají pro svařování elektrickým obloukem pod tavidlem poměrně často, ale lze je použít jen v těch případech, kdy není z technologického hlediska nutný stejnosměrný svařovací proud.

❑ Invertory

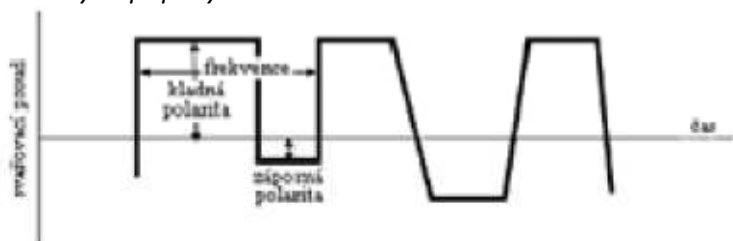
- Nové moderní invertorové zdroje nabízejí svařování stejnosměrným i střídavým proudem, umožňující řízení poměru mezi pozitivní a negativní amplitudou, stejně jako řízení trvání časové periody každé polarity.

Invertorové svařovací zdroje AC/DC

- Tyto zdroje maximálně využívají výhod stejnosměrného svařovacího proudu. Tzn. dobrého průvaru při nepřímé polaritě elektrody (+ pól na elektrodě) a velkého tepelného účinku, a tím velkého výkonu navaření při přímé polaritě svařovacího proudu

- Pomocí tohoto ovládání se tvar „výstupní vlny“ (viz. obr. č. 8.6) svařovacího proudu mění a následkem toho je řízena charakteristika svaru (průvar, šířka a výška svaru)

- Při použití střídavého proudu se dosahuje výkonu navaření pohybujícího se mezi oběma výše uvedenými případy



Druhy svařovacího proudu

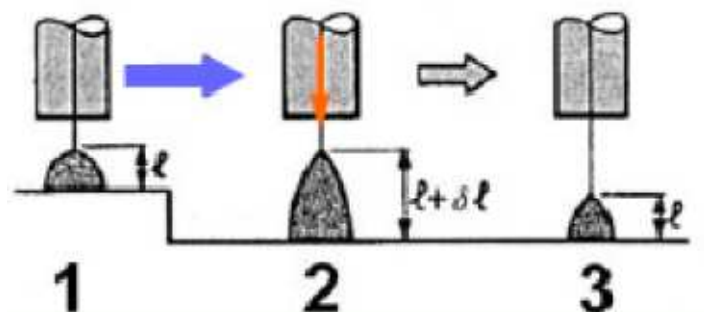
Zdroje svařovacího proudu pro svařování elektrickým obloukem pod tavidlem mohou používat jak **střídavý** tak na **stejnosměrný** svařovací proud

Systém regulace svařovacího proudu

❑ Zdroje proudu volíme také s ohledem na podmínky regulace délky oblouku a rychlosti podávání drátu

Důvod regulace:

❑ Délka elektrického oblouku se v důsledku nerovností mění a každá tato změna způsobuje změnu napětí na oblouku, která probíhá velmi rychle a pro udržení stability hoření oblouku je třeba vytvořit takové regulační podmínky, které jsou schopny eliminovat tyto výkyvy délky elektrického oblouku.



Používaná zařízení – Pohybové systémy

Zařízení pro svařování pod tavidlem musí splňovat základní podmínky pohybu přídavného materiálu (svařovacího drátu) a těmi jsou : (obdobně jako u svařování obalenými elektrodami)

❑ Pohyb drátu směrem do místa svaru rychlostí rovnající se rychlosti odtavování drátu

☐ Pohyb drátu ve směru svařování

- Obvykle jsou oba pohyby plně automatizovány (**Automatické svařování**)

-Případně se používají k dosažení pohybu ve směru svařování speciální polohovadla (**Poloautomatické svařování**)

Svařovací automaty

Hlavním představitelem svařovacích automatů jsou tzv. **svařovací traktory**, které jsou obvykle vedeny po přímé dráze (dlouhé rovinné svary) většinou jsou konstruovány jako univerzální zařízení pro pojiždění buď : vlastním pohonem po kolejnicích snadno přenosných) nebo uzpůsobených přímo pro pojiždění po svařovaném předmětu

Svařovací hlavy

Jsou řešeny buď jako :

☐Závěsné, stabilní (= nemají zařízení, kterým se posouvá oblouk při svařování, ale svařovací hlava je pevná)

- bývají upevněné na portálu nebo výložníku a pod ní se otáčí pomocí polohovadla svařovaný kus - takže je tento systém vhodný především pro obvodové svary).

☐Nebo je pojezd řešen samostatně, např. posuvnou kolejnicovou drahou apod. (např. pro použití na svislých stěnách), kdy se hlava pohybuje pomocí vlastního motoru.

Dále jsou svařovací hlavy konstruovány jako:

- Univerzální

-Jednoúčelové

Přídavné materiály

Při této metodě se používá jeden nebo více holých (kovových) drátů s plným průřezem (případně drátů plněných – trubičkových, nebo elektrod páskových) jako odtavujících se elektrody navinutých na cívkách

(teoreticky neomezené délky, obvykle však na cívkách o hmotnosti 25 kg).

Podávání drátu, tavidla a dodržování svařovacích parametrů zpravidla zajišťuje automat



Pro ochranu svarové lázně a el. Oblouku před přístupem okolní atmosféry je pokryt povrch svarové lázně vrstvou tavidla

Svařovací dráty

☐Přídavné materiály používané pro svařování pod tavidlem jsou většinou ve formě leskle taženého drátu za studena.

☐Ale zejména pro navařování se používají přídavné materiály ve formě pásy

☐Nebo lze použít i trubičkové elektrody, které jsou vytvořeny ze svinutého pláště z měkké oceli a mají uvnitř prášek z ferolegur

Tavidla

Definice:

Tavidlo je zrnitá hmota, podobná tmavému roztavenému sklu, jejímž úkolem je zabezpečit dobré operativní, formovací vlastnosti a jakost svarového kovu

Požadavky na tavidla :

jsou v podstatě stejné jako na obaly elektrod pro ruční svařování. Platí zde však přísnější podmínky, protože vliv tavidel na svar či návar je větší.

Charakteristickou vlastností tavidla je, že při jeho tavení nevznikají téměř žádné plyny a za normálních teplot je nevodivé. Se stoupající teplotou elektrická vodivost tavidla stoupá.

V tekutém stavu je velmi dobrým vodičem (přesto ale proces tavení probíhá díky hoření el. oblouku ne vlivem odporového tepla)

Funkce tavidla

Metalurgické :

- ☐Chrání svarovou lázeň i tuhnoucí svarový kov před účinky působení okolní vzdušné atmosféry
- ☐Rafinuje a dezoxiduje svarovou lázeň (zbavuje ji zejména síry a kyslíku)
- ☐Dolegovává svarový kov (metalurgicky působí na složení svarového kovu)

ČVUT, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování

Technologické :

- ☐Vznikající struska formuje svarové housenky a výrazně ovlivňuje povrch
- ☐ Po vychladnutí má být snadno odstranitelná (koeficient tepelné roztažnosti tavidla má být co nejvíce odlišný od koeficientu svařovaného materiálu)
- ☐Zabraňuje rychlému odvodu tepla a zpomaluje chladnutí svarového kovu
- ☐Zamezuje rozstříku roztaveného kovu a chrání před zářením oblouku

Elektrické:

- ☐Zlepšuje ionizaci prostředí, stabilizuje hoření elektrického oblouku, zvyšuje vodivost ve sloupci oblouku

Rozdělení tavidel

Podle způsobu výroby se tavidla rozdělují na:

Tavená tavidla

Netavená tavidla é technologie, skupina svařování

Keramická

Aglomerovaná

Sintrovaná

Typ tavidla	Hlavní chemické složky	Symbol
Manganato – křemičité	$\text{MnO} + \text{SiO}_2$	MS
Vápenato – křemičité	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2$	CS
Zirkoničito – křemičité	$\text{ZrO}_2 + \text{SiO}_2$	ZS
Hlinito – rutilové	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$	AR
Hlinito zásadité (bazické)	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$	AB
Zásadito – fluoritové	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{CaF}_2$ $\text{SiO}_2 \quad 2\text{O CaF}_2$	FB
Speciální typy	Tavidla s kovovými přísadami	ST

Rozdělení tavidel

Dále lze dělit tavidla podle struktury na :

Sklovitá

Mají hladký povrch a charakteristickou barvu (světlé, hnědé, šedé, černé). Na barvu tavidla má vliv jeho chemické složení a přítomnost různých oxidů. Jsou obvykle těžší (- tavená tavidla)

Pemzovitá

Mají amorfni tvar zrna s matným, zvrásněným povrchem a jsou zpravidla světlejší barvy než tavidla sklovitá. Jsou dále drobivá, prašná a navlhavá – tedy méně výhodná. Používají se především pro svařování vyššími postupnými rychlostmi. (- sintrovaná, aglomerovaná)

Tavidla lze rozdělit i podle metalurgických vlivů:

☐ **aktivní** (jní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování

-pokud má **oxidační** - kyselý

-nebo **redukční** – bazický neboli zásaditý charakter)

= většina svařovacích tavidel - hlavní metalurgické procesy, které probíhají během svařování jsou redukce křemíku z oxidu křemičitého a redukce manganu z oxidu manganatého.

☐ **neaktivní (neutrální)**

- když chemické reakce mezi struskou a svarovým kovem jsou málo důležité.

Index bazicity (zásaditosti) strusek

☐ Výsledný efekt metalurgických reakcí mezi struskou a svarovým kovem závisí na koncentraci chemických prvků v obou navzájem reagujících fázích (na jejich aktivitách) a na teplotě, při které metalurgické reakce probíhají. K vyjádření celkového metalurgického charakteru tavidel se všeobecně používá přístup založený na **indexu zásaditosti** (bazicity) jejich strusek. Vždy jde o **poměr zásaditých oxidů** vyskytujících se v tavidle = (CaO, MgO, MnO, FeO, K₂O, Na₂O, BaO, CaF₂ atd.) **k oxidům kyselým** = (SiO₂, TiO₂, ZrO₂, P₂O₅ atp.). Pro úplnost je nutné poznamenat, že ve struskách mohou vznikat i oxidy neutrální (např. Fe₂O₃, Al₂O₃ apod.).

Index bazicity lze zjednodušeně vyjádřit vztahem :

$$B = \frac{\sum \text{koncentrace zásaditých oxidů}}{\sum \text{koncentrace kyselých oxidů}}$$

Podle hodnoty uvedeného výrazu se pak strusky (resp. tavidla) dělí na :

☐ **bazické** ($B > 1$)

☐ **neutrální** ($B = 1$)

☐ **kyselé** ($B < 1$)

☐ **vysocebazické** ($B > > 1$)

Charakteristiky metody SAW

Svarová lázeň i celý prostor oblouku jsou dokonale chráněny před účinky okolní atmosféry.

Elektrický oblouk je zcela přikryt vrstvou tavidla a strusky a neoslňuje tak svářeče, oblouk hoří v uzavřeném prostoru naplněném přetlakovými ochrannými plyny, které tavidlo vyvíjí. Tepelné účinky svařovacího oblouku a postupná rychlost svařování jsou větší, ale nevýhodou je, že nelze přímo sledovat svarovou lázeň. Roztavené tavidlo pokrývá i chladnoucí svar.

Výhody metody SAW

☐ Vysoká kvalita svařování - snížení nebezpečí některých vad a nepřerušovaný svařovací pochod (minimální nebezpečí vzniku zápalů a porezity, studených spojů)

☐ vysoká produktivita svařování (2 až 5x oproti svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou) – velká odtavovací rychlost = velký výkon navaření

☐ velký průvar při svařování

☐ malé tepelné ztráty a malý (minimalizovaný) rozstřík svarového kovu

☐ velká proudová hustota i při tenkých svařovacích drátech

☐ možnost snížení velikosti koutových svarů ve srovnání s ručním svařováním elektrickým obloukem (až o 25 %)

☐ není potřeba odsávání (nevzniká žádný dým)

Nevýhody metody SAW

☐ zvýšené nároky na přípravu svarových ploch (podložení svaru. slícování) a jejich čistotu

☐ zakrytý svařovací proces (elektrický oblouk sice nevyzařuje do okolí, ale je ztížena možnost jeho kontroly – sledování svarové lázně)

- ☐ vzniká široká tepelně ovlivněná oblast
- ☐ možnost svařování pouze v polohách PA nebo PB (výjimečně i PC)
- ☐ větší nároky na kvalitu svařovaného materiálu, zvláště u ocelí s vyšším obsahem uhlíku

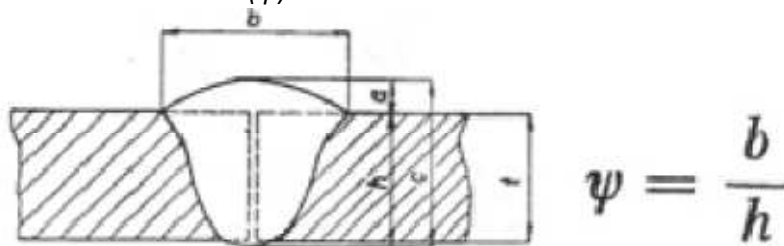
Použití metody SAW

Tato metoda svařování představuje jednu z nejrozšířenějších a z nejvýkonnějších (a zároveň nejehospodárnějších) metod využívanou v dnešní době především pro mechanizované způsoby svařování

- Je vhodná pro větší tloušťky materiálů a pro dlouhé a přímé (nepřerušované) svary v poloze vodorovné shora (PA) a svařování
- Dále také pro svařování obvodových svarů u větších průměrů.
- U tenkých plechů se tato metoda osvědčuje jenom v případě velkých délek svarů.
- Výrobky zhotovené touto technologií pracují většinou ve velmi náročných podmínkách (tlakové nádoby a kotle, potrubí většího průměru, dynamicky namáhané konstrukce, stavba lodí apod.).
- Časté použití je i pro navařování opotřebovaných částí (kolejnice, nákolky vagónových a lokomotivních kol, hřídelů, pístů a tlakových nádob atd.).

Technologické parametry svařování pod tavidlem

Chemické složení, struktura a mechanické vlastnosti svarového spoje závisí do značné míry na součiniteli tvaru svaru (ψ).



Hlavní vliv na rozměry svaru a součinitel tvaru svaru má však množství uvolněného tepla v elektrickém oblouku, které je funkcí :

- ☐ Svařovacího proudu I [A]
- ☐ Napětí na oblouku U [V]
- ☐ Rychlosti svařování v [m/hod] – závisející na rychlosti podávání drátu a rychlosti posuvu

Způsoby svařování pod tavidlem

Někdy je výhodné, místo, aby se svařovalo jedním obloukem velkého výkonu, použít dvou (nebo více) oblouků s menším výkonem. **Přitom je vždy důležitá vzdálenost mezi oblouky.**

☐ Je-li vzdálenost menší než asi 50 mm, mají oba oblouky společnou tavnou lázeň a roste hloubka závaru.

- Vysoké rychlosti svařování (60 m/hod a více)

- Oblouk o velkém výkonu

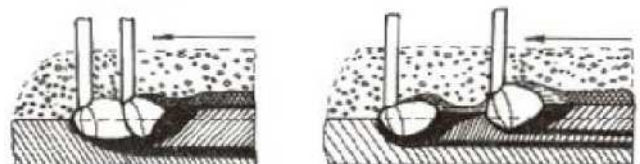
- Je-li vzdálenost větší, přetavuje druhý oblouk

materiál, navařený prvním obloukem, hloubka závaru se zmenšuje a zmenšuje se také podíl roztaveného základního materiálu ve svaru

- Možnost použít svařovací dráty menších průměrů

- Možnost řídit profil svaru (úhlem sklonu druhého hořáku)

- Zvýšení rychlosti svařování (o 70 až 95 %) a produktivity (až 80 %)



Svařování jedním drátem

☐ Nejrozšířenější metoda svařování pod tavidlem

☐ Rozsah průměrů drátů : 1,6 - 5 mm (obvykle 2 – 4 mm) (pro tenké plechy 1,2 a 1,6 mm)

☐ Počet svařovacích zdrojů: 1 (obvykle DC +) - výlet drátu 20 – 40 mm

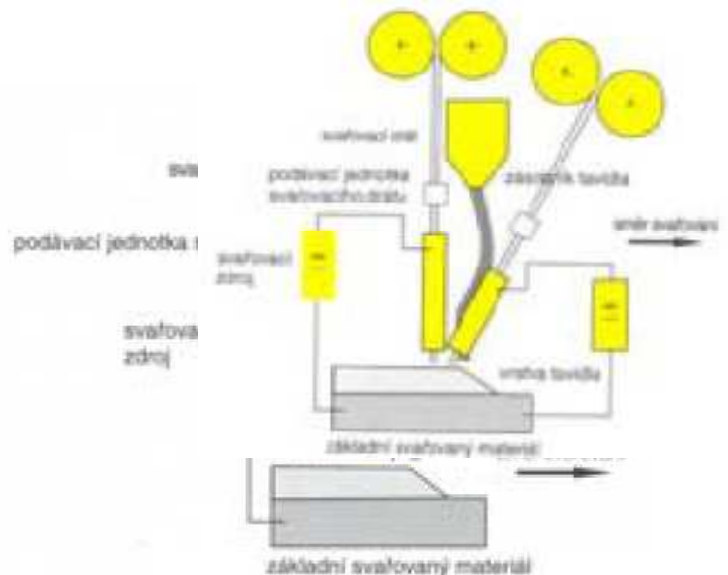
☐ Proudový rozsah : 200 – 1000 A

☐ Napětí na jeden svařovací drát : 25 – 38 V

Max. výkon odtavení: 12 kg/hod

☐ Menší průměry drátů dávají při stejném svařovacím proudu vyšší výkon odtavení vzhledem k vyšší hustotě proudu

☐ Při použití malých průměrů drátů dostáváme svary s větším průvarem a užší svarovou housenkou



Svařování dvěma dráty - TWIN

☐ Oba dráty napájeny jedním svařovacím zdrojem (dvojité podávání)

☐ Rozsah průměrů drátů : 1,2 - 3 mm

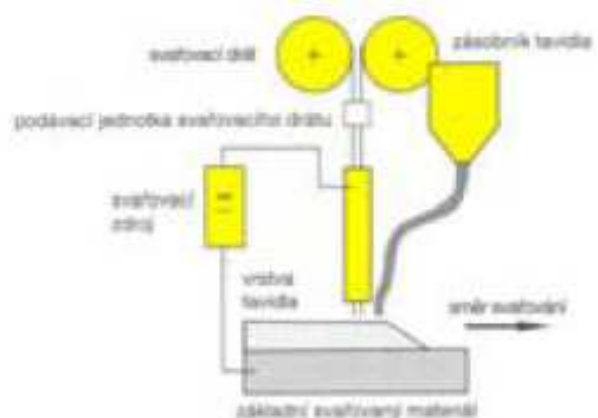
☐ Počet svařovacích zdrojů : 1 (obvykle DC +)

☐ Proudový rozsah : 400 – 1200 A

☐ Napětí na jeden svařovací drát : 26 – 32 V

☐ Max. výkon odtavení: 15 kg/hod

☐ Až o 30 % vyšší výkon odtavení a zároveň může být využito vyššího svařovacího proudu i vyšší rychlosti svařování



Tandemové svařování

☐ Používají se dva svařovací dráty, kdy každý je napájen vlastním svařovacím zdrojem

☐ Rozsah průměrů drátů: 3 – 5 mm

☐ Počet svařovacích zdrojů: 2 (obvykle DC +, AC)

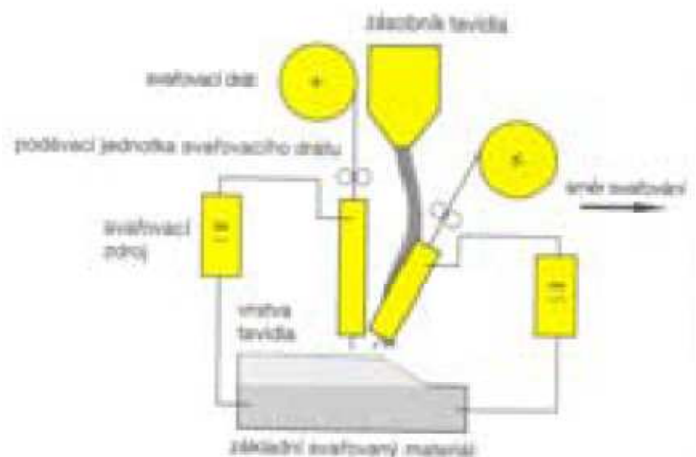
Max. výkon odtavení: 25 kg/hod

☐ Dráty mají obvykle větší průměr

☐ Odtavovací výkon se blíží dvojnásobku než při použití jednoho drátu

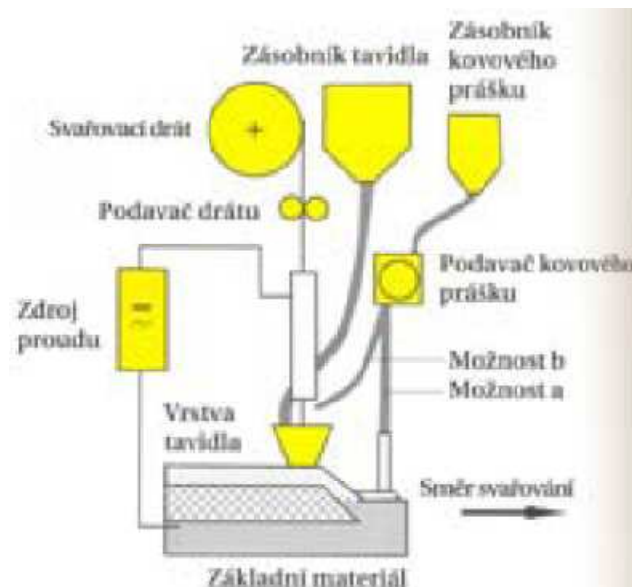
☐ První oblouk pracuje s vysokým svařovacím proudem (obvykle DC+) a s nízkým napětím – poskytuje hluboký závar

☐ Zatímco druhý oblouk používá nižší svařovací proud (obvykle AC), aby bylo odstraněno foukání oblouku pro získání hladkého povrchu sv. lázně.



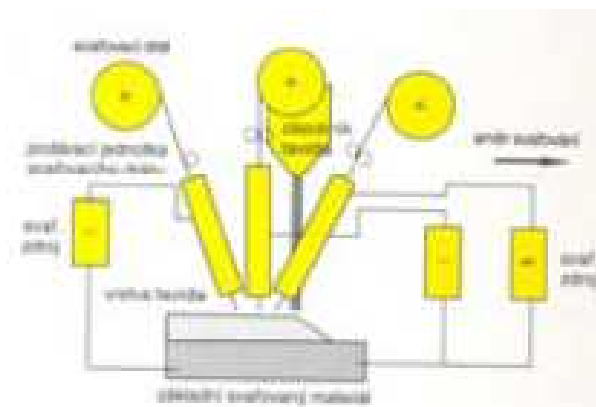
Dvojité TANDEMové svařování

- ☐ Využívají se dvě dvoudrátové svařovací hlavy, umístěné v řadě za sebou
- ☐ Rozsah průměrů drátů : 2,5 – 3 mm
- ☐ Počet svařovacích zdrojů : 2 (obvykle DC +, AC)
- ☐ Proudový rozsah : 1500 – 2200 A
- ☐ Napětí na jeden svařovací drát : 26 – 38 V
- ☐ Max. výkon odtavení: 38 kg/hod¹, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, skupina svařování
- ☐ Používáno pro spoje, které umožňují dobrou přístupnost pro potřebné zařízení
- ☐ Zvýšený výkon odtavení
- ☐ Používá se současně až 6 svařovacích drátů, kdy každý musí mít svůj svařovací zdroj
- ☐ Rozsah průměrů drátů: 3 – 5 mm
- ☐ Počet svařovacích zdrojů: 3 až 6 (první obvykle DC +, ostatní AC)
- ☐ Proudový rozsah: 2000 – 5 500 A
- ☐ Napětí na jeden svařovací drát: 30 – 42 V
- ☐ Max. výkon odtavení: 90 kg/hod
- ☐ Používáno pro dlouhé podélné svary, např. při výrobě trub



„Multidrátové“ svařování

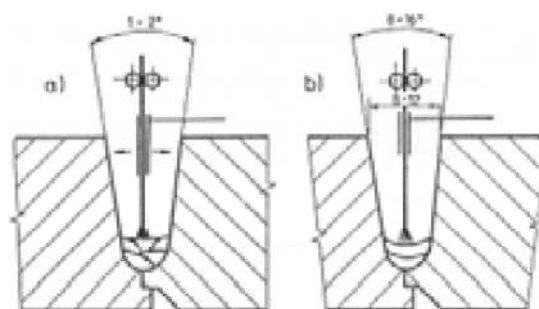
- ☐ Používá se současně až 6 svařovacích drátů, kdy každý musí mít svůj svařovací zdroj



Svařování do úzké mezery (úzkého úkosu)

Tato metoda se někdy podle anglického názvu označuje jako – **Narrow gap welding** a přináší značnou úsporu svarového kovu (a tím i přídavného materiálu) a svařovacího času i při svařování velkých tloušťek materiálů. Svařování do úzké mezery je v podstatě mnohvrstvé svařování se specifickým svarovým úkosem (t max 12 mm), jehož tvar je zvolen tak, aby každá vrstva byla složena max. ze dvou housenek. S výjimkou kořenové části a krycí vrstvy jsou obvykle všechny svarové housenky po celé tloušťce svaru pokládány při stejných parametrech svařování.

Na operativní, resp. formovací vlastnosti tavidla jsou kladeny vysoké nároky. Automat musí být vybaven speciálním stranovým kopírovacím zařízením, které musí zabezpečovat vedení svařovací hubice ve svarové spáře v průběhu celého svařování. Velmi důležitá je i konstrukce svařovací hubice, musí zabezpečit dobré vedení svařovacího drátu v blízkosti svarové hrany a musí mít malou tloušťku vzhledem k úzké mezeře.



9) Elektrostruskové svařování

Definice metody:

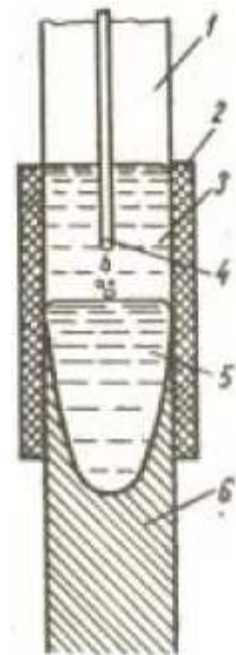
Elektrostruskové svařování je takový způsob svařování, při kterém se teplo vytváří průchodem elektrického proudu přes roztavenou strusku. Svařovací proces využívá tepla vznikajícího při průchodu elektrického proudu vrstvou natavené strusky.

Značení metody

ESW (Electroslag welding).

Princip metody

*V prostoru vytvořeném svarovými plochami základních materiálů (1) a formujícími (měděnými) přílozkami (2), které jsou umístěny příčně z obou stran a pohybují se ve směru vyráběného svaru se vytváří lázeň roztavené strusky (3), do které se ponoří kovová odtavující se elektroda (4). Zpočátku je na startovacím hranolu (tvořící dno a počátek jediné svařovací jednoprůchodové housenky) **zahájen obloukový proces svařování** pod vrstvou tavidla. Ten zabezpečuje automaticky podávaný drát ze speciálně tvarované hubice, napájený ze svařovacího zdroje. Proud, který prochází mezi elektrodou a svařovaným základním materiálem, ohřívá taveninu a udržuje ji na vysoké teplotě a vysoké elektrické vodivosti. Teplota struskové lázně musí být větší, než je teplota tavení základního materiálu a materiálu elektrody. Struska roztavuje ponořenou elektrodu i svarové plochy základního materiálu. Roztavený základní materiál spolu s roztaveným kovem elektrody se shromažďuje na dně struskové lázně a vytváří svarovou (kovovou lázeň (5), která po ztuhnutí vytvoří svar (6), spojující svařované díly. Podle rychlosti odtavování se elektroda automaticky podává směrem do svarové lázně.*



Rozsah základních svařovacích parametrů

Poloha svařování: PF (svislá nahoru)

Minimální ekonomická tloušťka základního materiálu: od 50 mm (extrémně lze až do 1 500 mm)

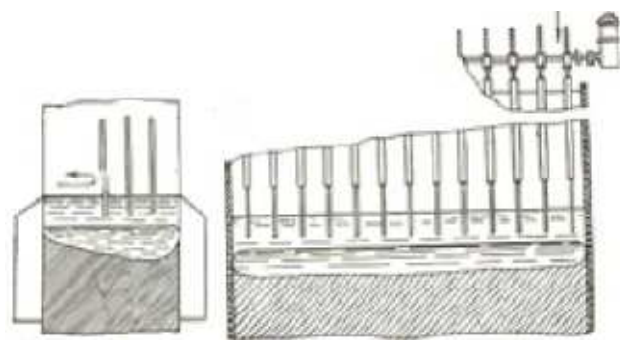
Druh používaného svařovacího proudu : střídavý i stejnosměrný

Průměr přídavného materiálu: 2 až 6 mm

Druh základního materiálu: všechny druhy konstrukčních ocelí, legované ocel

Systém podávání PM pro velké svařované tloušťky

Podle tloušťky svařovaných desek se používá podélné kývání hubice s podávaným přídavným holým kovovým drátem (elektrodou), podobného chemického složení, jako má základní materiál. Při větších tloušťkách se užívají dvě a více paralelních hubic.



**Svařování třemi dráty
s vratným pohybem**

**Svařování více dráty
bez vratného pohybu**

Charakteristika metody

Elektrostruskové svařování je bezobloukový !!! proces tavení svařovaných (základních) materiálů, při kterém se potřebné množství tepla vytváří jako odporové teplo při protékání svařovacího proudu přes relativně hlubokou struskovou lázeň, která pokrývá celý povrch svarové lázně. Elektrický oblouk je zapálen jen v počáteční fázi procesu kvůli roztavení potřebného množství strusky a potom zaniká. Po vytvoření kovové tavné lázně svařovací proud přechází roztavenou vodivou struskou, v které se elektrická energie mění na teplo potřebné k zajištění svařovacího procesu. Další specifikum

elektrostruskového svařování, které také ovlivňuje průběh metalurgických procesů, je v postupu vytváření svarového spoje. - vytváří s podélnou osou ne v horizontální, ale ve vertikální orientaci. Při přechodu elektrického proudu přes strusku nedochází k tak intenzivnímu vývinu plynů, doprovázeného rozstříkem strusky, jako je to při klasickém obloukovém svařování. Při elektrostruskovém procesu nedochází vůbec k rozstříku, což dovoluje svařovat bez toho, aby bylo třeba něčím pokrývat hladinu struskové lázně. Tavidlo se do lázně dodává jen v malých množstvích, kterým se vyrovnává úbytek strusky, která v podobě tenké kůrky (1 až 1,5 mm) vytváří povlak na obou površích svaru. Úbytek tavidla je cca 0,2-0,3 kg na běžný metr svaru bez ohledu na svařovanou tloušťku

Zařízení pro elektrostruskové svařování

Jako svařovací zdroj je možné použít buď :

- rotační zdroj proudu, usměrňovač, transformátor

Dále se používají svařovací automaty, kterými automaticky podáváme kovové elektrody do tavné lázně, a které současně mají zařízení na formování svaru (systém posuvných měděných příložek), které se současně posouvá podél svaru. Elektrostruskové stroje také mají zařízení na automatické udržování polohy hladiny kovové lázně vůči měděným příložkám.

Porovnání procesu SAW a ESW

Odlíšnosti elektrostruskového svařování od svařování pod tavidlem, z kterého bylo vyvinuto, se dají shrnout do tří bodů :

☐ Metalurgické procesy probíhají jen mezi dvěma kapalnými fázemi, mezi struskou a svarovým kovem.

Chybí přitom přímý kontakt svarového kovu s plynovou atmosférou.

☐ Poměr objemu kovu k objemu strusky se kontinuálně a velmi výrazně mění v prospěch svarového kovu

☐ Hladina struskové lázně je v trvalém kontaktu s okolní vzdušnou atmosférou

Výhody ESW

☐ Při použití u velkých tloušťek je to bezkonkurenčně nejproduktivnější metoda svařování (na jeden průchod svarové lázně lze svařit v podstatě libovolnou tloušťku materiálu)

☐ Malá spotřeba tavidla (20x menší než při svařování pod tavidlem)

☐ Malá spotřeba elektrické energie (2x menší než při svařování pod tavidlem a asi 4x menší než při svařování „odkrytým el. obloukem“)

☐ Svarový kov s rovnoměrným chemickým složením

☐ Svařování bez úpravy svarových ploch (tzn. svařování bez úkosů)

☐ V podstatě nedochází k deformacím svarů (dáno možnými typy prováděných svarů)

Nevýhody ESW

☐ Možnost svařování pouze v poloze PF (svíslá nahoru, případně nutnost použít speciálních zařízení)

☐ Nejmenší hospodárná tloušťka svaru je 40-50 mm (jinak jsou náklady větší než u jiných metod)

☐ Není možné podrobně kontrolovat proces svařování

☐ Vzniká velmi hrubozrnná struktura svaru (nutno vyžíhat)

Tento způsob svařování se v šedesátých letech jevil jako velice nadějný, avšak technická praxe prokázala jeho podstatné slabiny.

Komplikované jsou i metalurgické poměry ve vlastním svarovém spoji a tepelně ovlivněné oblasti.

Složitá je i příprava vlastního svaru, a proto se dnes tento způsob svařování využívá jen velice sporadicky

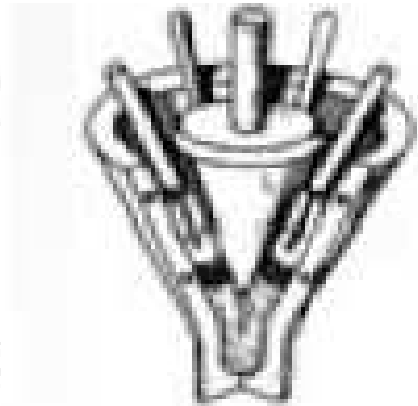
Použití metody ESW

Tento způsob svařování je určen především pro svařování desek o větších tloušťkách umístěných vertikálně (svisle) a s pevně nastavenou mezerou mezi spojovanými plochami.

Elektrostruskové svařování se používá při výrobě:

- tlakových těles parních kotlů a jiných tlakových nádob
- při výrobě stojanů mechanických lisů a rámců těžkých strojů
- při výrobě hřídelů velkých vodních turbín, generátorů apod.

*Dnes se používá především pro **navařování povrchových vrstev** (to je však odlišný proces od procesu svařování)*



10) Odporové svařování

Metody:

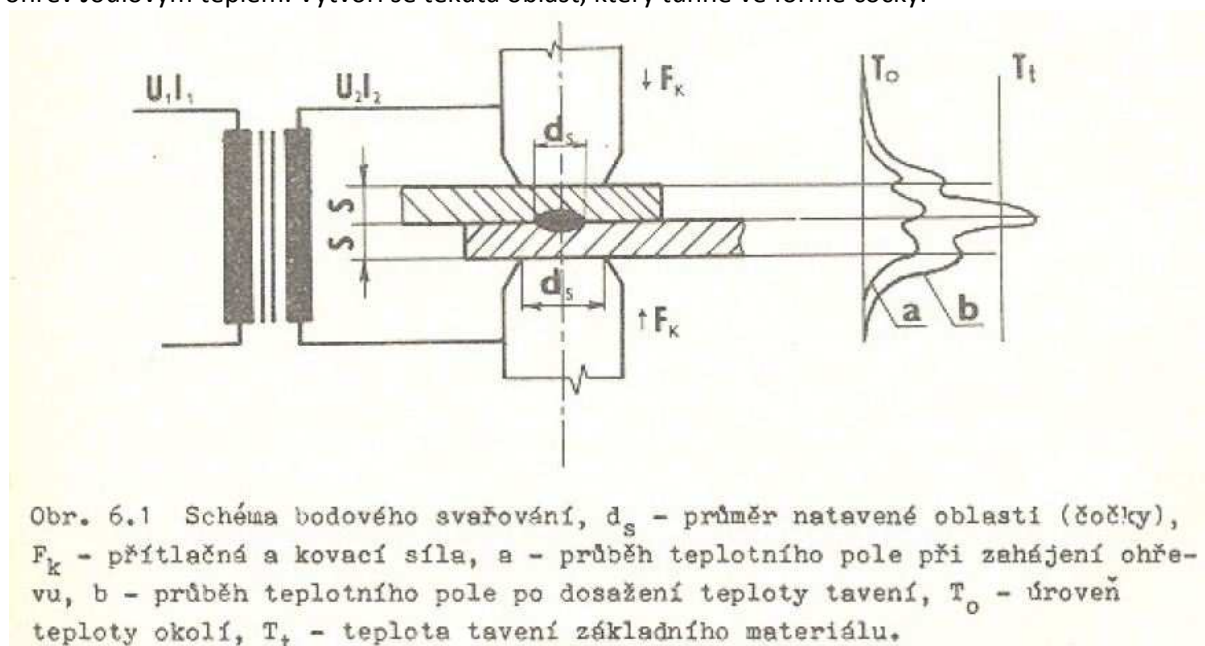
- Bodové svařování
 - Přímé bodové svařování
 - Dvoubodové bodové svařování
 - Nepřímé dvoubodové svařování
 - Mnhabodové svařování
- Švové svařování
- Výstupkové svařování
- Stykové odporové svařování
- Stykové svařování s odtavením

Principy metod:

Bodové svařování

Nejrozšířenější

Díly umístěny mezi elektrodami, které jsou zapojeny do sekundárního obvodu svař. transformátoru. V první fázi jsou k sobě plechy elektrodami přitlačeny, pak zapnut proud, vzniká ohřev Joulovým teplem. Vytvoří se tekutá oblast, která tuhne ve formě čochky.



Obr. 6.1 Schéma bodového svařování, d_s - průměr natavené oblasti (čochky), F_K - přitlačná a kovací síla, a - průběh teplotního pole při zahájení ohřevu, b - průběh teplotního pole po dosažení teploty tavení, T_0 - úroveň teploty okolí, T_t - teplota tavení základního materiálu.

Obvyklé použití a parametry bodového svařování:

poloha svařování	všechny
tloušťka svařovaného materiálu	(0,4 + 0,4) až (4 + 4) mm
druh svařovaného materiálu	nelegované a legované ocele (C < 0,2 %), Al, Cu, Ni, slitiny
svařovací proud	$I_s = 10^3$ až 10^5 /A/
sekundární napětí	$U_s = 0,5$ až 10 /V/
svařovací čas	$\tau = 0,04$ až 2 /s/
kovací síla	500 až 10^4 /N/
průměr elektrody	$d_e = 2 - 3$ s

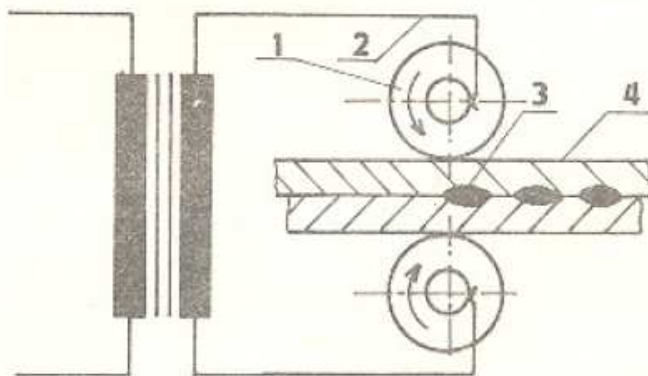
Švové svařování

6.2 Švové svařování

Je obdobou bodového svařování. Elektrody zde mají tvar kladiček, které se odvalují po svařovaném materiálu a při nastavení vhodných parametrů vzniká švový svar. Podle četnosti proudových pulsů a rychlosti odvalování kladiček vytvoří se svar přerušovaný – jednotlivé bodové svary jsou odděleny, nebo spojitý, jestliže se body překrývají. Takové svary jsou těsné a používají se pro nádrže.

Charakteristika a obvyklé použití

poloha svařování:	A_1
tloušťka svařovaných materiálů:	$(0,5 + 0,5) - (3 + 3) \text{ (mm)}$
druhy svařovaných materiálů:	jako při bodovém svařování
svařovací proud:	$I_s = 5 \text{ až } 50 \text{ (kA)}$
svařovací napětí:	$U_p = 0,5 \text{ až } 10 \text{ V}$
svařovací rychlost:	$v_s = 0,4 \text{ až } 5 \text{ m.min}^{-1}$
přítlačný tlak kladiček:	$F_k = 500 \text{ až } 10^4 \text{ (N)}$



Obr. 6.21 Základní schéma švového svařování: 1 – elektrody kladky, 2 – sekundární obvod, 3 – bodové svary, 4 – základní materiál

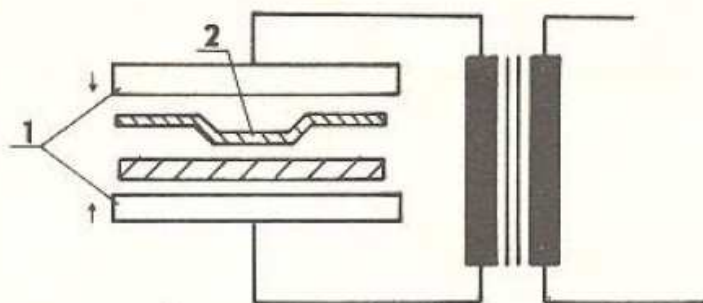
Výstupkové svařování

6.3 Výstupkové svařování

Je druh odporového svařování, při kterém vznikají svary v místech, kde byly vytvořeny výstupky. Součásti opatřené výstupky se k sobě přitisknou tlakem velkých deskových elektrod. Jimi prochází elektrický proud po přesně stanovený čas. Současně dojde ke stlačení. Úkolem výstupků je soustředit svařovací proud a tlak do určitých míst, kde mají vzniknout svary. Výhodou je, že lze vytvořit více svarů najednou, velká životnost deskových elektrod i to, že místa svaru jsou určena polohou výstupků.

Charakteristika a obvyklé použití

poloha svařování:	A_1
tloušťka svařovaného materiálu:	0,5 až 5 mm
druhy svařovaných materiálů:	jako při bodovém svařování
svařovací proud:	$I_s = 6$ až 100 (kA)
přítlačný tlak:	$F_k = 500$ až $4 \cdot 10^4$ (N)
svařovací čas:	$t = 3$ až 50 period



Obr. 6.22 Schema výstupkového svařování: 1 - deskové elektrody, 2 - výstupek vytlisovaný v základním materiálu.

Stykové odporové svařování

6.4 Stykové odporové svařování

Svařovaný materiál je svými konci uchycen do čelistí, průchodem proudem se ohřeje a stlačením čelistí vytvoří svar.

Charakteristika a obvyklé použití

průřez svaru:	10 až 150 mm ²
druh svařovaného materiálu:	nízkolegované a vysokolegované ocele Ni, Cu, Al slitiny
proudová hustota:	$j = 40$ až 50 (A.mm ⁻²)
přítlačný tlak:	$p_k = 10$ až 30 (MPa)
svařovací proud:	střídavý

Stykové svařování s odtavením

6.5 Stykové svařování s odtavením

Svařovaný materiál je uchycen v čelistech, které se k sobě přiblíží na dotyk. V místě dotyku se po následujícím oddálení zapálí elektrický oblouk, který postupně nataví celou plochu. Následuje stlačení. Přebytečný natavený kov vystříkne a styková plocha se svaří.

Charakteristika a obvyklé použití

průřez svaru:	10 až $8 \cdot 10^4$ (mm ²)
druh svařovaného materiálu:	nelegované ocele s Cr do 0,2 %, vysokolegované ocele, ocele s vysokým obsahem C, Al, Cu - slitiny

svařovací proud:

$$I_s = 2 \text{ až } 90 \text{ (kA)}$$

napětí naprázdno:

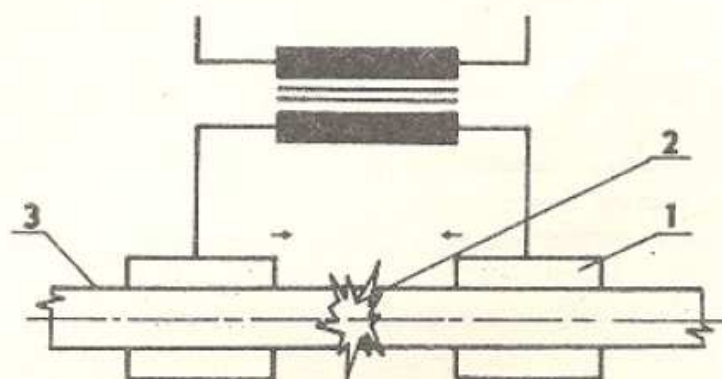
$$U_p = 5 \text{ až } 10 \text{ (V)}$$

délka odtavené části:

$$l_{ot} = 2 \text{ až } 30 \text{ (mm)}$$

svařovací čas:

$$t = 2 \text{ až } 150 \text{ (s)}$$



Obr. 6.23 Schéma svařování stykového s odtavením: 1 - čelisti, 2 - místo svaru, 3 - svařovaný materiál

11) Pájení materiálů

Princip:

Pájení je způsob metalurgického spojování kovových součástí roztavenou pájkou, přičemž pájené plochy nejsou nastaveny, ale jen smáčeny použitou pájkou. /3, 9/

Většina technologických postupů pájení využívá k tvorbě spoje působení kapilárních sil, pouze při nánosovém pájení se pájka dostává na pájenou plochu mechanickým spolupůsobením např. hrotu pájedla.

Kapilární pájení využívá k transportu pájky do místa spoje kapilárního tlaku, který se výrazně projevuje při mezerách menších než 0,5 mm. Kapilární tlak nutí pájku, případně tavidlo vyplnit mezeru všemi směry. Aby k tomu procesu došlo, musí být splněny základní fyzikální předpoklady:

1. Základní materiál, pájka, tavidlo musí být ohřáty na pracovní teplotu
2. Základní materiál a pájka musí mít dobrou smáčivost a vzlínavost.

Povrchové atomy základního materiálu a tekuté pájky se přitom dostanou do tak malé vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil. Nejčastěji dojde k vzájemnému rozpouštění a difuzi některých prvků spojovaných materiálů. /2/

Příprava pájených ploch:

Příprava pájených ploch se nejčastěji provádí hoblováním, soustružením, frézováním, vrtáním. Rozsah drsnosti se volí pro kapilární pájení obvykle 1 až 25 μm , pro některé metody může být větší. Shodný směr stop po obrábění s tečením pájky zlepšuje vyplňování spoje pájkou. Bez úprav lze použít pro pájení i povrchy po válcování za studena s drsností 0,6 až 4 μm , povrchy lisované a tažené s drsností 4 až 25 μm vyhovují. U pájených ploch je nutno dosáhnout vysoké čistoty a zbavit je mastnoty a okují. K tomu se používají speciální postupy odmašťování, moření, příp. mechanického očišťování.

Pájky

Podle teploty tavení (solidus) pájky rozdělujeme pájení: /9/

1. Měkké pájení - teplota tavení pájky pod 450 °C
2. Tvrdé pájení - teplota tavení nad 450 °C.

Pájky se označují buď číselně podle ČSN nebo podle IIW (International Institut of Welding). Značení pájek se skládá ze tří znaků:

$$B - M_1X_1M_2X_2\ldots - T_L/T_S$$

kde B značí přídatný materiál pro pájení (angl. Brazing)

M_1, M_2 - chemické značky prvků obsažených v pájce,

X_1, X_2 - průměrný obsah prvků /%/

T_L/T_S - teplota likvidu/teplota solidu pájky /°C/

Měkké pájky jsou slitiny obsahující Sn, Pb, Cd, Bi s pracovní teplotou 190 až 350 °C. Používají se pro spoje s malým mechanickým a tepelným namáháním. Pevnost spojů ve smyku bývá v rozmezí 20 až 40 MPa. Většina pájek je na bázi Sn-Pb. Cín je aktivní složkou zajišťující dobrou smáčivost, Pb se základním materiálem metalurgicky nereaguje. Druhy některých pájek a oblasti použití udává ČSN 05 5600. /1, 4/

Měkké pájky speciální jsou vyvinuty tak, aby splňovaly některé zvláštní požadavky praxe. Jejich složení tvoří podvojně nebo vícesložkové slitiny obsahující kromě Sn, Pb také Cu, Zn a jejich složení se blíží eutektickému. Legováním dalšími prvky např. Ag, Sb, Bi, In apod. se vytvoří pájky požadovaných speciálních vlastností. Používají se v elektrotechnickém, potravinářském průmyslu, pájení skla, tepelné pojistky (Bi50InPbSn, $T_L = 58$ °C) apod. Blíže viz lit. /2/.

Tvrdé pájky používají se pro spoje, které jsou vystaveny vyššímu mechanickému a tepelnému namáhání. Jsou vhodné pro pájení železných a neželezných kovů s teplotou tavení nad 1000 °C. Pájet je možno i materiály, které nemají vhodné pájecí vlastnosti (kovokeramika, keramika apod.), jestliže se opatří vhodnou mezivrstvou. Velká variabilita a použitelnost tvrdého pájení vedla k vývoji značného počtu druhů tvrdých pájek. /1, 2, 3/

Tavidla:

Úkolem tavidla je vytvoření vhodných podmínek pro pájení. Základní požadavky na tavidla jsou:

- maximálně podporovat smáčení základního materiálu pájkou,
- rozpuštět v maximální míře a co nejrychleji povrchové oxidy před pájením, účinná reakční teplota musí být nižší o 50 až 150 °C než T_S .
- interval tavení tavidla musí být minimálně ($T_S - 50$) až ($T_L + 50$) °C,
- dobrá adheze a odstranitelnost po pájení, minimální tvorba zdraví škodlivých sloučenin.

Druhy tavidel pro tvrdé a měkké pájení a oblast jejich použití uvádí ČSN 05 5705. Podle účinků rozdělujeme tavidla na tavidla s leptavým účinkem (s halovými a kyselinotvornými složkami) a tavidla bez leptavého účinku (většinou na bázi pryskyřice).

Tavidla pro měkké pájení s leptavým účinkem mají jako základní aktivní složku, která rozpouští oxidy, chlorid zinečnatý $ZnCl_2$. Rozpouštění oxidů probíhá podle rovnice:



Základní složkou tavidel pro tvrdé pájení je:

borax - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, který při ohřevu dehydratuje, taje při 741°C a vytváří směs metaboritanu sodného a oxidu boritého podle rovnice:



kde aktivní složkou je hlavně B_2O_3 , který s oxidy pájeného místa vytváří boritany. /3/

kyselina boritá - H_3BO_3 je rozpustná v lihu, vodě, oleji, používá se i ve formě past. Při ohřevu dehydratuje, přičemž vzniká B_2O_3 podle rovnice:



Pojmy:

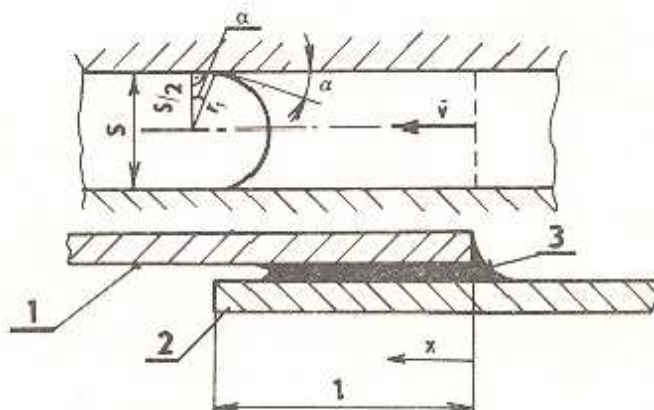
Smáčivost je schopnost tekuté pájky (tavidla) přilnout k čistému povrchu základního materiálu při pracovní teplotě.

5.1.3 Roztékavost

Je schopnost pájky (tavidla) roztéci se po vodorovném povrchu základního materiálu. Její velikost se udává v mm^2 plochy, kterou zaujme přesně definovaný vzorek pájky po ohřevu podle stanoveného technologického postupu podle ČSN 05 0004.

5.1.4 Vzlínavost

Vzlínavost je definována jako schopnost tekuté pájky vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru spoje působením kapilárních sil. Velikost kapilární síly se určuje podle zákonů hydromechaniky, které platí pro laminární proudění, obr. 5.3.



Obr. 5.3 Kapilární vzlínavost ve vodorovné mezeře, s - šířka mezery spoje, α - úhel styku při smáčení, z - vzdálenost, do které pájka dotekla, r_1 - poloměr křivosti menisku pájky.

12) Lepení materiálů

Celková pevnost lepeného spoje je závislá především na dvou nejdůležitějších činitelích: *adhezi a kohezi*.

Adheze: (přilnavost). Vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami. Adheze souvisí s molekulovou strukturou lepidla. Je výsledkem působení fyzikálních sil, mezimolekulárních a chemických vazeb.

Koheze: (někdy též vnitřní adheze) je tzv. soudržnost. Charakterizuje stav látky (lepidla), ve kterém drží její částice působením mezimolekulárních a valenčních sil pohromadě. Velikost koheze udává tzv. kohezni energie, což je velikost energie potřebná k odtržení jedné částičky od ostatních.

Rozdělení lepidel

V technické praxi se lepidla rozdělují podle několika hledisek. Nejobecnějším základem pro rozdělení lepidel je jejich *chemické složení*. Podle původu základní složky se dělí lepidla na *přírodní a syntetická*. Přírodní se dělí nejčastěji na *organická* (živ. nebo rostl. původ), (škrob, živ. klišy apod.) a *anorganická* (vodní sklo, sádra, cement...). Syntetická dále na lepidla na bázi *reaktoplastů, termoplastická, elastomerová (kaučukovitá) a směsná*.

Podle fyzikálního charakteru na lepidla *pevná, polopevná a tekutá*. Tekutá se dělí dále na *roztoková, disperzní, pasty a pěny*. Dále je možné u reaktivních lepidel využít pro rozdělení typ reakce, který je potřebný pro vytvrzení lepidla.

Příklady aplikací lepidel a tmelů za účelem těsnění:

- těsnění lemů a dalších dílů karoserií (blatníků, hrdla palivové nádrže, těsnění spoje krytu zadního kola a postranic apod.)
- těsnění oken
- zvuková izolace dveří aj.

Nízkopevnostní lepené spoje:

- spoj hrdla palivové nádrže se zadní postranicí a rámem dveří
- lepení výztuh povrchových plechů (dveře, kapota aj.)
- lepení střechy a výztuh střechy aj.

Pevnostní lepené spoje (pevnost ve smyku nad 6 MPa):

- lemy všech dveří
- lemy kapoty aj.