

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚST, TECHNICKÁ 2896/2, 616 69 BRNO**

Odbor svařování a povrchových úprav

Sylabus přednášek

TECHNOLOGIE II

ČÁST SVAŘOVÁNÍ

Díl 1 ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ



Určeno pro výuku v předmětech CTV, 5TE, ETV-K, ETR, HSV, HRP

**Autor: Ing. Jaroslav KUBÍČEK
Brno 2006**

Obsah sylabu TECHNOLOGIE II – ČÁST SVAŘOVÁNÍ

1. Všeobecný úvod.....	3
1.1 Teorie vzniku svarového spoje	3
1.2 Rozdělení metod svařování podle ČSN EN 34063	5

METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ

2.1 Plamenové svařování	7
2.2 Aluminotermické svařování	9
3. Svařování elektrickým obloukem - oblouk	10
4. Zdroje pro svařování el. obloukem	21
5. Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	29
6. Úvod do svařování v ochranných atmosférách	32
7. Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu WIG	33
Svařovací proudy	36
Svařovací hořáky	38
Wolframové elektrody	40
Ochranné plyny	43
Přídavné materiály	46
Technika a zásady ručního svařování	48
Strojní svařování	53
8. Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MIG/MAG	58
Ochranné plyny	61
Zařízení MIG/MAG	63
Metalurgie svařování v aktivních plynech	69
Přenosy kovu v oblouku	73
Přídavné materiály	86
Parametry podmínky svařování	91
Technika svařování	95
Speciální metody	101
9. Automatické svařování pod tavidlem	115

1. VŠEOBECNÝ ÚVOD

Svařování je definováno jako nerozebíratelné spojování dvou částí kovů pomocí tepla při teplotě tavení obou materiálů nebo tlaku vyvolávající deformaci kontaktních ploch. Při tavném svařování může nebo nemusí být použitý přídavný materiál s tavící teplotou stejnou nebo blízkou teplotě tavení základních materiálů.

1.1 TEORIE VZNIKU SVAROVÉHO SPOJE

Svařováním kovů a jejich slitin je definováno jako nerozebíratelná spojení s využitím tepelné, mechanické nebo radiační energie. Spojení nastane působením meziatomových sil, a adhezních vazeb na teplem nebo tlakem aktivovaných kontaktních plochách. Pevné látky mohou mít různý typ vazby, která odpovídá různým typům rozložení elektronů a iontů. Ionty jsou v atomu uspořádány tak, aby potenciální energie krystalu byla co možná nejmenší. Základem vazby je mrak valenčních elektronů, které mohou volně přecházet od atomu k atomu. Ke kovové vazbě tedy dochází, pokud přitažlivé síly mezi kovovými ionty a elektronovým mrakem převyšují odpudivé síly elektronů v tomto mraku. Ionty jsou uspořádány podle přesně definovaného rozložení, podle něhož v pevných látkách existují mezi ionty síly přitažlivé a odpudivé.

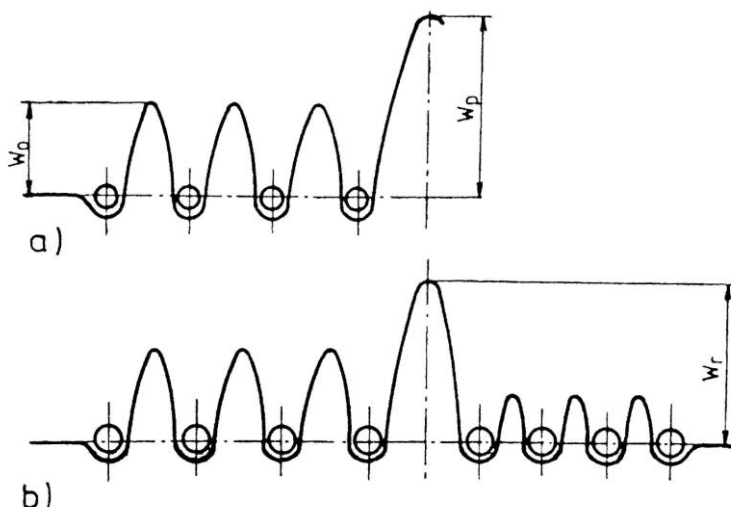
Proces svařování vyžaduje aktivaci kontaktních ploch, tj. dodání energie aktivace pro překonání bariery potenciální energie povrchových atomů

Pro svařování lze použít následující formy aktivační energie:

- a) termická aktivace
- b) pružné a plastické deformace – mechanická aktivace
- c) elektronové, fotonové nebo iontové ozáření – radiační aktivace

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny: tavné svařování a tlakové svařování. U tavného svařování je vytvoření spoje dosaženo přívodem tepelné energie do oblasti svaru, kdy dochází k natavení základního, případně přídavného materiálu. Tekutá fáze je vázána na povrch tuhé fáze adhezními silami a při tuhnutí taveniny se slabé adhezní síly mění na chemickou vazbu ve formě krystalové mřížky. Rostou nová zrna a původní rozhraní zaniká.

Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie. Aktivaci povrchových atomů a makro nebo mikrodeformací se přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. U obou způsobů svařování je třeba překonat energetickou hladinu potenciální energie na rozhraní spojovaných ploch obr. 1.1



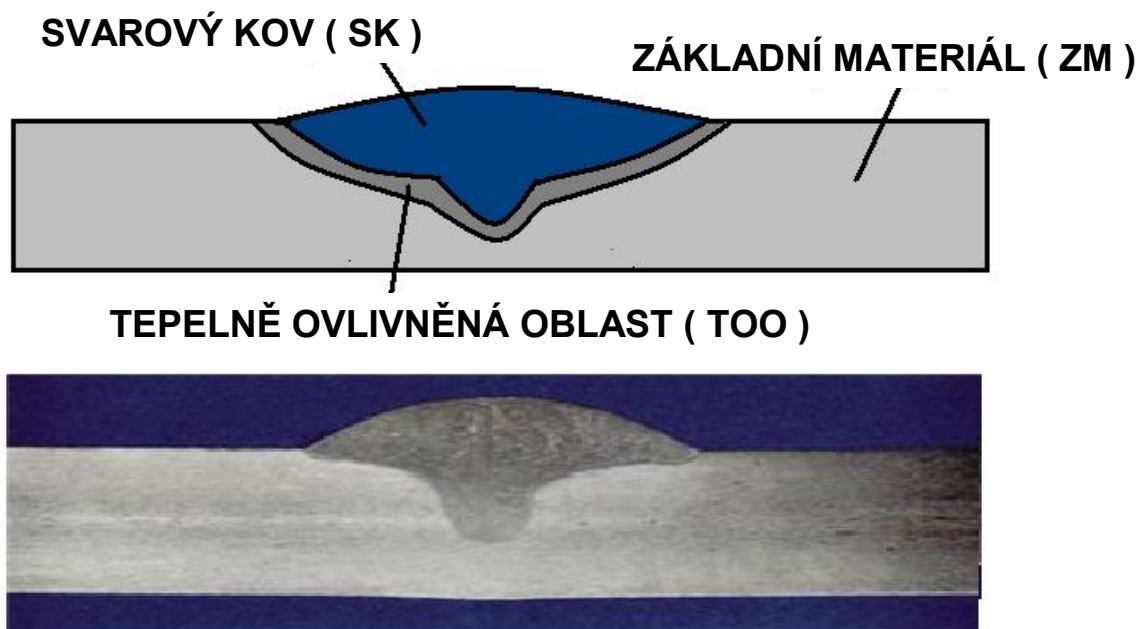
W_0 – potenciální energie nutná pro změnu polohy iontu uvnitř krystalu

W_p – vliv povrchu krystalu na velikost potenciální energie (energie nutná pro změnu polohy iontu)

W_r – potenciální energie na rozhraní fází

Obr. 1.1 Energetické bariéry potenciální energie.

U tavných metod svařování je kolem roztavené části (svarový kov) pásmo, kde dosáhla teplota hodnoty překrystalizačních pochodů tzv . tepelně ovlivněná oblast obr. 2



Obr. 1.2 Struktura svarového spoje

1.2 ROZDĚLENÍ METOD SVAŘOVÁNÍ

Rozdělení metod svařování je uvedeno v normě ČSN EN 34063. Toto rozdělení je ekvivalentní rozdělení dle ČSN ISO 857. U každé metody svařování je v kulaté závorce uvedeno i číselné označení metody svařování, tak jak je toto označení metody svařování uvedeno v dalších materiálech u svařování, např. u WPS – technologické postupy, označování zkoušek svářečů apod.

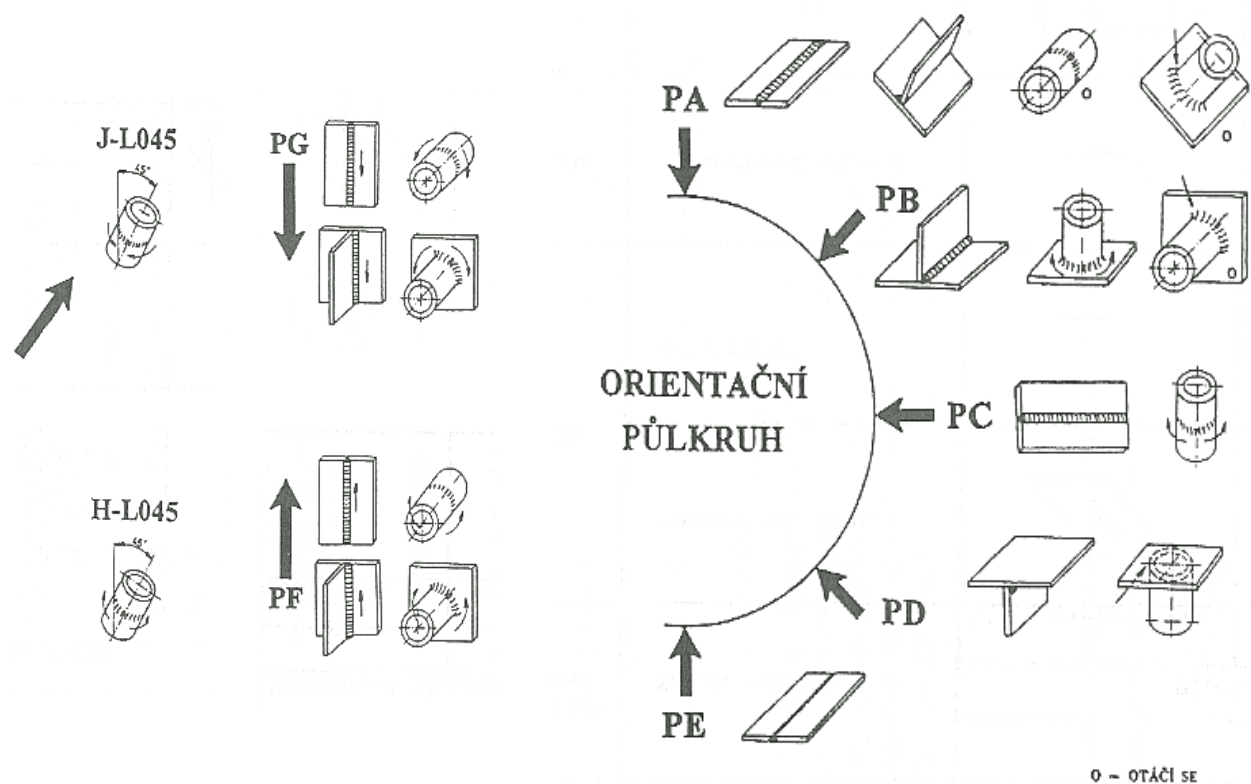
A) Metody tavného svařování(0)

1. Svařování elektrickým obloukem (1)
 - a) Obloukové svařování tavící se elektrodou(101)
 - b) Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)
 - c) Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou(112)
 - d) Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu(114)
 - e) Vibrační svařování a navařování
 - f) Pod tavidlem(12)
 - g) Obloukové svařování v ochranné atmosféře(13)
 - h) Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu-MIG (131)
 - i) Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG(135)
 - j) Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (136)
 - k) Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu(137)
 - l) Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu-WIG (141)
2. Elektrostruskové svařování(72)
3. Svařování plazmové(15)
4. Svařování plazmové MIG svařování(151)
5. Svařování magneticky ovládaným obloukem(185)
6. Elektronové svařování (76)
7. Plamenové svařování(3)
 - a)kyslíko-acetylenové svařování(311)
 - b)kyslíko-vodíkové svařování(313)
8. Svařování slévárenské
9. Svařování světelným zářením(75)
- 10.Laserové svařování(751)
- 11.Aluminotermické svařování(71)
- 12.Elektroplynové svařování(73)
- 13.Indukční svařování(74)

B) Metody tlakového svařování(4)

1. Tlakové svařování za studena(48)
2. Odporové svařování(2)
 - a) stykové α) stlačovací stykové svařování(25)
 - β) odtavovací stykové svařování(24)

- b) přeplátováním
3. Svařování indukční(74)
4. Svařování v ohni
5. Třecí svařování(42)
6. Ultrazvukové svařování(41)
7. Výbuchové svařování(44)
- α) bodové odporové svařování(21)
- β) švové odporové svařování(22)
- γ) rozválcovací švové svařování(222)
- δ) výstupkové(23)
- ε) vysokofrekvenční odporové svařování(291)
- a) kovářské svařování(43)
- b) tlakové svařování s plamenovým ohřevem(47)



Obr.1.3 Polohy svařování

2. TAVNÉ SVAŘOVÁNÍ - METODY VYUŽÍVAJÍCÍ TEPLO CHEMICKÉ REAKCE

2.1 PLAMENOVÉ SVAŘOVÁNÍ

Zdrojem tepla při [plamenovém svařování](#) je chemická energie, která vznikne hořením směsi okysličujícího a hořlavého plynu. Parametry zdroje tepla – plamene se řídí použitými plyny. U kyslíko-acetylenového plamene je maximální teplota plamene $\sim 3150^{\circ}\text{C}$, nejmenší plocha ohřevu $1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$ a hustota energie $5 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$

Hořlavé plyny

Hořlavých plynů používaných v technické praxi pro plamenové svařování je celá řada. Pro svařování má největší význam acetylen pro jeho velmi dobré vlastnosti.

Tab. 2.1 Hořlavé plyny a jejich vybrané vlastnosti

vlastnosti plynu	acetylen	vodík	propan	metyl-acetylen-propadien	etylen (eten)	propylen	Zemní plyn
chem. vzorec	C_2H_2	H_2	C_3H_8	MAPP, TETREN, APACHI C_3H_4	C_2H_4	C_3H_6	CH_4
způsob skladování	rozpuštěný v acetonu	Stlačený	kapalný	kapalný	stlačený (kapalný)	kondenzovaný	Stlačený
Výhřevnost ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$)	56,5	10,8	93,2	82,2	53,9	87,6	35,9
meze výbušnosti se vzduchem (%)	2,2-85,0	4,0-74,5	2,2-95,5	1,7-12,0	3,1-32,0	2,0-10,5	5,0-15,0

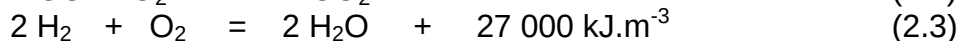
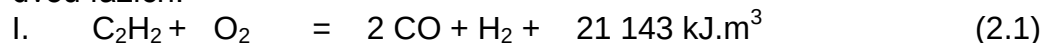
Kyslíko – acetylenový plamen.

Tento plamen se podle poměru kyslíku a acetylenu dělí na následující druhy:

- neutrální, poměr $\text{O}_2 : \text{C}_2\text{H}_2 = 1$ až $1,1 : 1$
- redukční, poměr $\text{O}_2 : \text{C}_2\text{H}_2 < 1$
- oxidační, poměr $\text{O}_2 : \text{C}_2\text{H}_2 = 1,2 : 1$

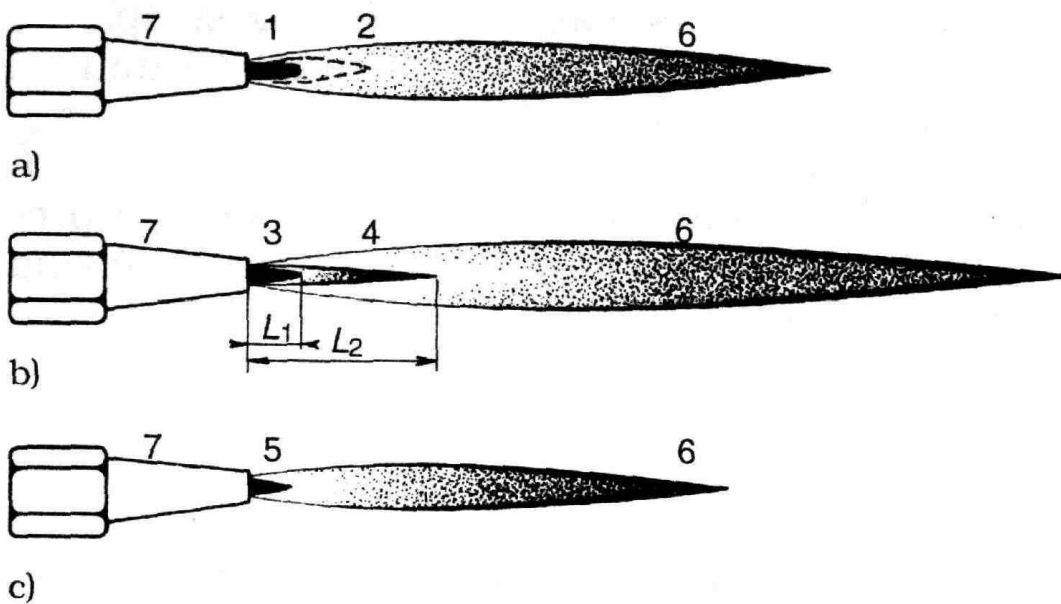
Jednotlivé typy kyslíko-acetylenového plamene podle rozdělení na plamen neutrální, redukční a oxidační jsou uvedeny na obr.2.1.

V neutrálním plameni je svařovací plamen ostře ohraničen a září oslnivě bíle. Neutrálním plamenem se obvykle svařuje ocel. Proces spalování probíhá obvykle ve dvou fázích:



V první fázi spalování probíhá nedokonalé spalování na povrchu svařovacího kužele. Acetylen se rozkládá, vodík zůstává z větší části volný, uhlík se spaluje na oxid uhelnatý. Oblast plamene do vzdálenosti asi 10mm od vrcholu svařovacího kužele má redukční účinky.

V druhé fázi hoření dochází ke spalování ve vnějším kuželu. Kyslík potřebný k reakci si plamen odebírá ze vzduchu se značným přebytkem, takže vnější plamen má oxidační účinky.



Obr.2.1 Rozdělení plamene kyslíko-acetylenového podle poměru kyslíku a acetyleny

- a) neutrální
- b) redukční(s přebytkem acetyleny)
- c) oxidační(s přebytkem kyslíku)

1-svařovací kužel ostře ohraničený, oslnivě bílý, 2-redukční oblast plamene, 3-svařovací plamen oslnivě bílý, překrytý bělavým závojem, 4-bělavý závoj, 5-svařovací plamen krácený, modrofialový, 6-vnější oxidační plamen, 7-svařovací hubice

Oblasti použití plamenového svařování

Plamenové svařování patří mezi klasické metody svařování vyznačující se dlouhou tradicí. Svoji dominantní úlohu a postavení si stále zachovává v řemeslech jako jsou topenář, instalatér, potrubář, klempíř, automechanik a další. Nezastupitelnou úlohu má v opravárenství a renovacích. Velmi často se můžeme setkat se svařováním plamenem při navařování tvrdých i jiných návarů. Snad více než u ostatních metod svařování ovlivňuje řemeslná zručnost svářeče výsledky svařování plamenem. Hlavní oblast použití svařování plamenem je pro svařování slabých plechů do tloušťky 4mm. I v této oblasti je však z důvodů vznikajících deformací a vnitřních pnutí nahrazováno svařování plamenem metodou svařování MAG.

2.2 ALUMINOTERMICKÉ SVAŘOVÁNÍ

Aluminotermické svařování využívá jako zdroje tepla aluminotermické reakce, která je svou povahou a tepelným zabarvením exotermickou reakcí. Při aluminotermickém svařování probíhá redukce oxidu železa hliníkem, přičemž získáme vysoko přehřátý kov se značným tepelným obsahem. Tento získaný kov slouží jednak jako zdroj tepla pro svařování a jednak jako přídavný materiál (svarový kov) pro svarový spoj.

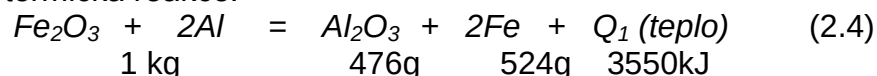
Pro vlastní svařování se v praxi používá aluminotermická dávka, která obsahuje:

1. oxidy kovů přídavného materiálu,
2. hliník,
3. legující přísady.

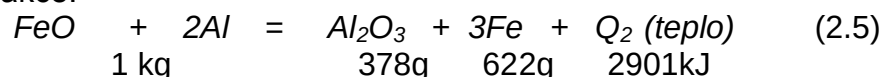
Zápalná teplota směsi je 800 až 1100°C a délka trvání reakce je několik vteřin.

Výtěžnost aluminotermické dávky je v případě oceli přibližně 50% ocele a 50% strusky. Teplota vyredukovaného kovu je asi 2100 až 2200°C.

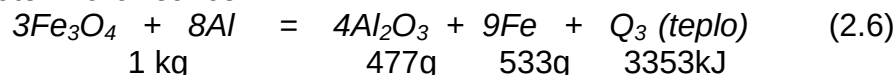
Pro aluminotermické svařování oceli lze použít do aluminotermické dávky jeden ze tří oxidů, které tvoří železo. V případě použití oxidu železitého (Fe_2O_3) proběhne následující exotermická reakce:



V případě použití oxidu železnatého (FeO) do exotermické směsi proběhne následující exotermická reakce:



V případě použití oxidu železnato-železitého (Fe_3O_4) do exotermické směsi proběhne následující exotermická reakce:



Chceme-li získat legovaný svarový kov (ocel) můžeme jej legovat přísadami feroslitin, např. ferochromen, feosilíciem, feromanganem, niklem, apod.

Optimální exotermická směs je směs složená z 24,5% Al a 75,5% oxidu Fe. Z hlediska tepelného efektu je nejlepší použít oxidy železa ve složení 86% Fe_2O_3 a 14% FeO. Teoreticky nejvyšší možnou teplotu lze získat při použití oxidu Fe_2O_3 . Přísada FeO teplotu snižuje. Aluminotermické svařování je např. výhodné pro svařování tupých spojů betonářské výztuže o průměru 14 až 32mm. Svařování betonářské výztuže lze realizovat v poloze vertikální nebo horizontální. Je třeba vytvořit z vhodné formovací směsi dvoudílnou formu (CT formovací směs na bázi křemičitého písku a vodního skla), aby nemohl roztavený kov vytéci z místa svaru. Zapálení formovací směsi se provádí speciální zápalkou. Této technologie svařování se také používá pro svařování svarových spojů typu Cu – Cu, Cu – ocel, bronz – ocel. Této metody svařování lze rovněž využít pro renovaci součástí hřídelového typu s velkým opotřebením a velkým průřezem. Hlavní oblastí využití aluminotermického svařování je spojování kolejnic.

3. SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

3.1 ELEKTRICKÝ OBLOUK

Elektrický oblouk jako zdroj vysokých teplot se začal využívat o tři čtvrtě století později než byl v roce 1808 Angličanem Humphry Davym objeven. Téměř současně s jeho použitím v osvětlovací technice byly vypracovány metody jeho využití ve svařování nejprve uhlíkovou a posléze kovovou elektrodou.

Elektrický oblouk využitelný ve svařování je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu.

Charakteristické znaky oblouku jsou:

- 1) malý anodový úbytek napětí
- 2) malý potenciální rozdíl na elektrodách
- 3) proud řádově ampéry až tisíce ampér
- 4) velká proudová hustota katodové skvrny
- 5) intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku.
- 6) intenzivní vyzařování UV záření.

Fyzikální a metalurgické děje probíhají v oblouku velmi rychle a za vysokých teplot.

Tyto děje mají vliv na hoření oblouku a jsou ovlivňovány především těmito okolnostmi:

- chemickým složením plazmatu, materiálem elektrod a částečně okolní atmosférou,
- geometrickým uspořádáním a tvarem elektrod,
- tepelnou vodivostí plazmatu, elektrody a základního materiálu.

Zapálení oblouku.

Zapálení oblouku probíhá při napětí naprázdno zdroje, které bývá obvykle vyšší než při ustáleném hoření oblouku. Velikost zápalného napětí ($U = 60 - 70 \text{ V}$) závisí na materiálu elektrod a ionizační schopnosti plynného prostředí.

Pro běžné metody svařování je charakteristický rozsah napětí na oblouku $U = 10 - 60 \text{ V}$ a svařovací proud v rozmezí $I = 10 - 2000 \text{ A}$.

Zapálení oblouku se provádí těmito způsoby:

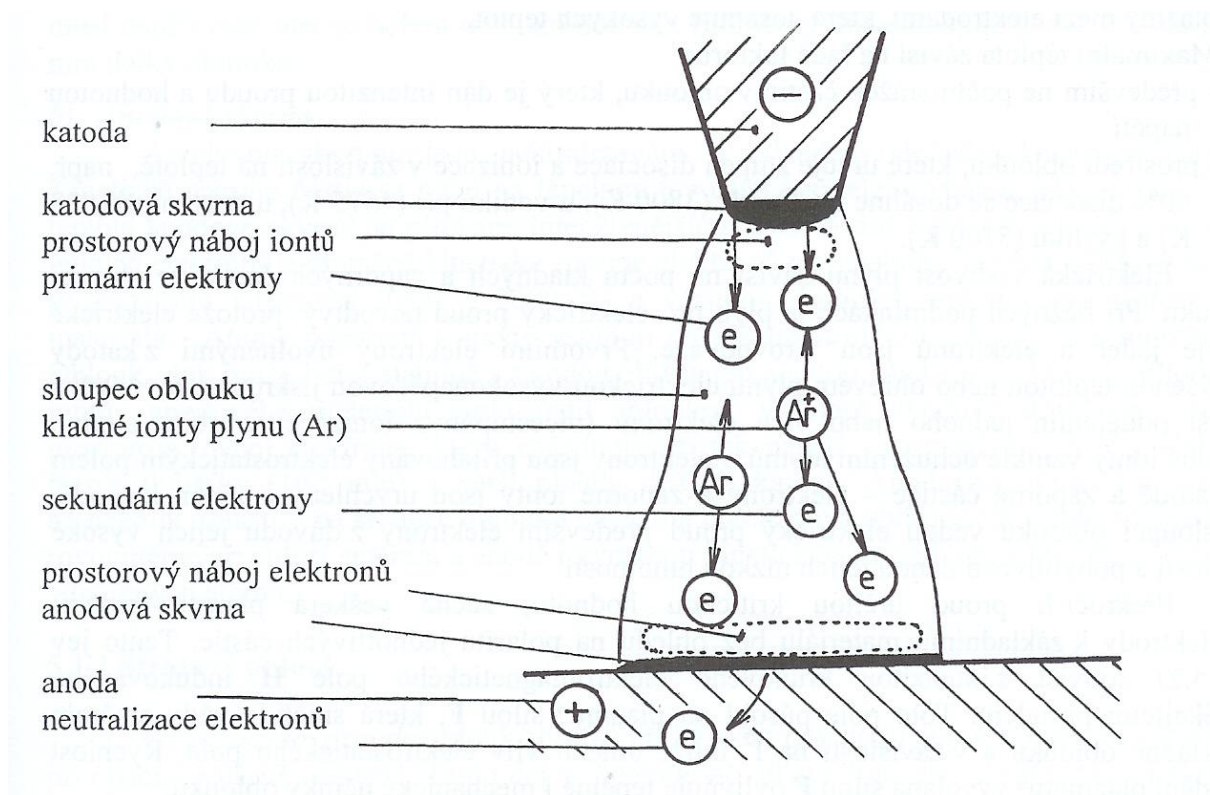
- 1) Krátkodobým dotykem elektrody a základního materiálu při nastaveném svařovacím proudu. Dotykem elektrody se místo kontaktu ohřeje elektrickým odporem při zkratovém proudu na vysokou teplotu. Tím se zajistí termoemise primárních elektronů, které ionizují okolní plynné prostředí, čímž se vytvoří podmínky pro vedení elektrického proudu v plynu. Při oddalování elektrody dochází k rozvoji oblouku, zvyšuje se odtavování a odpaření části kovu dostatečné pro vznik stabilního sloupce oblouku. Zapalování oblouku především u střídavého proudu je závislé také na ionizačním napětí par kovů, které jsou v prostoru mezi elektrodami. **Ionizační napětí** je napětí kterým musíme urychlit elektron, aby byl schopen odtrhnout jiný elektron z valenční sféry daného prvku. Tato ionizace se nazývá nárazová. Např. ionizační napětí draslíku je 4,3 V; vápníku 6,1 V; hliníku 5,9 V; železa 7,8 V; niklu 7,6 V; mědi 7,7 V a wolframu 8,1 V jsou relativně nízké, ionizační napětí plynů je vysoké: argon 15,7 V; oxid uhličitý 13,7 V; dusík 15,5 V; kyslík 12,2 V; vodík 15,4 V. Tento způsob zapalování oblouku se používá u metod ROE (ruční obloukové svař.), APT (automatické pod tavidlem), MAG, MIG.
- 2) Vysokonapěťovým vysokofrekvenčním ionizátorem se zapálí na vzdálenost několika milimetrů elektrická jiskra, která ionizuje plynné prostředí výbojem. Tím se vytvoří podmínky pro vedení elektrického proudu dochází k rozvoji disociace a ionizace okolního ochranného plynu a zapálení vlastního oblouku. Ionizace je možná jen díky termoemisi elektronů z katodové skvrny na elektrodě. Metoda zapalování vysokofrekvenčním ionizátorem se používá u metody WIG.
- 3) Dotykové zapalování tzv. startovacím proudem. Tento způsob zapalování je umožněn soudobým řízením a kontrolou svařovacích parametrů a používá se u metody WIG. Startovací proud, jehož intenzita je nízká a dosahuje maximálně 10 A, ohřívá pouze hrot wolframové elektrody. Tento stav může trvat delší dobu a při oddalování elektrody se zvyšuje řízeným nárůstem proud na svařovací hodnotu. Výhoda uvedeného způsobu je v přesném umístění začátku svaru na svarovém úkosu.

Části oblouku.

Nejlépe lze jednotlivé části popsat na **stejnoseměrném oblouku** hořícího mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v ochranném prostředí argonu, poněvadž při stejnosměrném proudu a konstantní délce oblouk hoří velmi stabilně bez změny napětí i proudu.

Každý oblouk představuje v elektrickém obvodu určitý odpor, který závisí na parametrech výboje.

Oblouk lze rozdělit na tyto základní oblasti dle obr. 3.1



Obr.3.1 Části elektrického oblouku a oblouk při stejnosměrném proudu u WIG.



Části elektrického oblouku:

a) **Katodová skvrna** je ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Skvrna je stabilní, nebo se v závislosti na teplotě, proudu a geometrii konce elektrody po povrchu katody přemísťuje. Teplota katodové skvrny není stálá a zvyšuje se s růstem proudu. Teplota katody se vlivem ochlazovacího efektu termoemise elektronů (spotřebovaná výstupní práce při uvolnění elektronů) pohybuje kolem 2400°-3000°C. Proudová hustota na katodové skvrně je velmi vysoká a dosahuje až 1000 – 1500 A.mm⁻².

Na katodovou skvrnu elektrody dopadají kladné ionty, které se pohybují ve směru záporného pólu vlivem elektrostatických sil. Ionty se na povrchu neutralizují a předávají na katodu svoji ionizační energii, která přispívá k termoemisi elektronů.

Bezprostředně ke katodové skvrně přiléhá oblast katodového úbytku napětí. Tento úbytek napětí způsobuje prostorový náboj iontů, který brzdí elektrony uvolněné z katody.

Pokles napětí je výsledkem spotřeby energie oblouku pro emisi elektronů a udělení dostatečné kinetické energie potřebné k ionizaci sloupce oblouku.

Tloušťka úbytku napětí je cca 0,1 mm a hodnota úbytku napětí je u metody WIG přibližně polovina celkového spádu napětí (8 V při 100 A). S poklesem proudu tento úbytek vzrůstá.

b) **Sloupec oblouku** je zářivě svítící oblast disociovaného a ionizovaného plynu ve

formě plazmy mezi elektrodami, která dosahuje vysokých teplot.

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, např. 90% disociace se dosáhne u CO₂ při 3800 K u vodíku při 4575 K u dusíku při 833 K a kyslíku 5100 K

Elektrická vodivost plynu závisí na počtu kladných a záporných částic ve sloupci oblouku. Při běžných podmínkách je plyn pro elektrický proud nevodivý, protože elektrické náboje jader a elektronů jsou v rovnováze. Prvotními elektrony uvolněnými z katody a zvýšenou teplotou nebo ohřevem plynu elektrickou vysokonapětíovou jiskrou se rovnováha poruší oddělením jednoho nebo více elektronů (vícestupňová ionizace) z orbity atomu. Vhodné ionty vzniklé ochuzením atomů o elektrony jsou přitahovány elektrostatickým polem ke katodě a záporné částice – elektrony a záporné ionty jsou urychleny směrem k anodě. Ve sloupci oblouku vedou elektrický proud především elektrony z důvodu jejich vysoké rychlosti a pohyblivosti danou jejich nízkou hmotností.

Překročí-li proud určitou kritickou hodnotu, začne veškerá plazma proudit od elektrody k základnímu materiálu bez ohledu na polaritu jednotlivých částic. Tento jev souvisí s intenzitou kruhového elektromagnetického pole **H** indukovaného

protékajícím proudem. Toto pole působí na plazmu silou F , která směřuje vždy směrem k základně oblouku a v závislosti na I^2 může omezit vliv elektrostatického pole. Rychlost proudění plazmatu vyvolaná silou F ovlivňuje tepelné i mechanické účinky oblouku.

Hodnoty proudové hustoty, teploty a tlaku ve sloupci oblouku jsou dány Gaussovým rozložením s maximem v ose elektrody.

Maximální teploty oblouku jsou ve středu a k okraji klesají přičemž nejvyšší teplota je těsně pod katodovou skvrnou kde dosahuje až 16000 °C. Při ručním svařování obalenou elektrodou se teplota oblouku pohybuje mezi 4200 až 6400 °C, při svařování pod tavidlem 6200 až 7800 °C, v ochranné atmosféře WIG 6500 až 9000 °C a u svařování MIG/MAG vytváří vysoká proudová hustota velmi vhodné podmínky pro ionizaci a teploty se pohybují v rozmezí 8000 až 15000 °C.

Změna napětí na sloupci oblouku závisí na jeho délce. Se zvyšováním vzdálenosti musí napětí růst, aby se hoření oblouku udrželo. Průměrný úbytek napětí je cca 2 V na jeden mm délky oblouku.

a) Anodová skvrna

Anodovou skvrnou jsou neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Kinetická energie částic se mění na tepelnou a z části i na elektromagnetické záření. Vyšší teplota anodové skvrny se připisuje intenzivnějšímu uvolňování tepla při neutralizaci rychle letících elektronů a přeměně kinetické energie elektronů na tepelnou. Teplota anodové skvrny se pohybuje v rozmezí 2700 – 3600 °C a většinou dosahuje teploty varu svařovaných materiálů. Atomy odpařené z anody vstupují do plazmatu oblouku a jsou tam ionizovány. Oblouk však může hořet stabilně i s vodou chlazenou anodou (nebyla prokázána přítomnost iontů anodového materiálu v plazmatu oblouku). V oblasti anodové skvrny se nachází prostorový náboj elektronů, který způsobuje úbytek napětí v rozmezí 1 – 3 V v důsledku menší tloušťky (10^{-2} mm) a větší plochy než na katodě. Anodovou oblast lze rozdělit na několik oblastí – na sloupec oblouku navazuje přechodová oblast v níž elektrony získávají rovnoměrné zrychlení směrem a anodě i výraznou kinetickou energii a posléze oblast ionizace odpařených atomů.

Střídavý oblouk

Při *střídavém proudu* oblouk zhasíná při každém průchodu nulou a je znovu zapalován při opačné polaritě elektrod. Tento děj se opakuje při síťové frekvenci 50 Hz, nebo frekvencí danou nastavením zdroje. Katoda zahřátá z předcházející půlperiody výboje emituje elektrony ihned na začátku nové půlperiody. Tato tepelná setrvačnost elektrod umožňuje snadné znovuzapálení oblouku při hodnotě průrazného napětí pro dané prostředí. stabilizace hoření oblouku se dosahuje zařazením zdánlivého nebo činného odporu do obvodu střídavého proudu obdobně jako zařazením ohmického odporu u stejnosměrného proudu.

TEPELNÉ ÚČINKY OBLOUKU

Obloukové svařování je rozšířeno proto, že oblouk je intenzivním zdrojem tepla, který je koncentrován na poměrně malou plochu a účinnost přenosu tepla do svaru je dobrá. Úpravou parametrů svařování lze měnit tepelné i mechanické účinky oblouku a řídit tím charakter a rozměry svarové lázně, tepelné ovlivnění základního materiálu, zbytková napětí i deformace svaru.

Celkový výkon oblouku lze vyjádřit jako jeho energetický příkon, tj.:

$$P = k \cdot U \cdot I \quad [J] \quad (3.1)$$

kde k je součinitel vlivu napětí a proudu (pro stejnosměrný proud = 1).

Na tepelnou bilanci oblouku má rozhodující vliv směr proudění plazmy a přenos tepla vedením mezi plazmou a roztavenou svarovou lázní. Entalpie plazmy je asi 25 – 30 k.J.g⁻¹ v závislosti na jeho složení, směrné hmotnosti, stupni disociace a ionizace a směru proudění.

Obecně lze rozdělit teplo vzniklé v oblouku na 1/3 předanou katodě a dvěma třetinami předanými anodě.

Při svařování tavící se elektrodou se do materiálu přenáší **celková tepelná energie Q_c** :

$$Q_c = Q_i + Q_p + Q_r + Q_m \quad [J] \quad (3.2)$$

kde jednotlivé podíly celkové tepelné energie jsou:

Složka Q_i je energie přímého vybavení tepla na katodě nebo anodě dopadem částic.

Při přímé polaritě [+] na základním materiálu se přenos uskutečňuje prostřednictvím přeměny kinetické energie elektronů odpovídající anodovému úbytku napětí.

Při obrácené polaritě [-] na základním materiálu je ohřev zajištěn přeměnou kinetické energie dopadajících iontů, která je úměrná ionizačnímu potenciálu.

Množství tepla vybaveného v jednotlivých oblastech oblouku je úměrná příslušnému úbytku napětí např. teplo na anodě – $Q_a = U_a \cdot I \cdot t$ [J] (3.3)

Množství tepla předaného anodě a katodě není totožná s teplem vybaveným v jejich okolí, především z důvodu ochlazování katody termoemisí elektronů a ohřev anody jejich dopadem.

Složka Q_p – energie přenášená tokem plazmatu je důležitá pro tepelné i mechanické účinky obrobku. U svařování tavící se elektrodou se v proudu plazmatu projeví velkou měrou také póry kovu tryskající z přehřátého konce elektrody.

Složka Q_r energie radiačního záření je závislá na polaritě a ploše elektrody a svarové lázně. Je to část pohlceného záření sloupce oblouku. Tato energie dosahuje 15 – 25 % z celkové energie oblouku.

Část tepla Q_m je přenášena do svarového kovu entalpií kapek přehřátého kovu (pro Fe = 1,8 – 19 k.J.g⁻¹) a kinetickou energií kapek dopadající rychlostí 0,5 – 1,5 m.s⁻¹. Tato složka činí 10 – 20 % z celkového přenosu energie v oblouku.

Celková tepelná účinnost η :

$$\eta = \frac{Q_{sv} - \text{energie vnesená do svarového spoje}}{Q_{obl} - \text{celková energie oblouku}} \quad (3.4)$$

U svařování obalenou elektrodou se projevuje také účinek tlaku par a plynů při tepelném rozkladu složek obalu (organické látky, CaCO₃).

Při svařování tavící se elektrodou v aktivní ochranné atmosféře bude účinnost vyšší z důvodu přenosu tepla kapkami elektrody a při vyšším obsahu CO₂ i akumulací tepla do molekul CO₂. Tepelné ztráty budou menší také u metody ROE nebo APT, kde je oblouk krytý částečně nebo úplně tavícím se obalem nebo tavidlem.

Tavení kovu elektrody závisí především na hodnotě svarového proudu.

Elektroda se taví především těmito mechanizmy :

a) odporovým teplem podle Joule-Lenzova zákona

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [J] \quad (3.5)$$

které závisí na hustotě proudu a délce volného konce elektrody. Tento druh ohřevu je dominantní především u metody MIG, MAG a APT při vysokých proudech a velké délce volného konce. U svařování ručního obalenou elektrodou velké odporové teplo způsobuje přehřátí a deformaci elektrody, případně ztráty obalu

b) teplem oblouku vybaveným na katodě nebo anodě. Množství tepla je dáno úbytkem napětí na oblouku a svařovacím proudem

c) pohlcení zářivého účinku záření oblouku

d) teplem uvolněným přeměněným z kinetické energie dopadajících elektronů nebo iontů

Část získané energie se opět ztrácí odvodem a vyzářením tepla do okolí tj. do ochranného plynu, tavidla nebo obalu. Při nízkých proudových hustotách převládá tepelný účinek oblouku, při vysokých proudech a delším volném konci elektrody je významější podíl ohřev odporovým teplem vznikajícím v elektrodě. Intenzita ohřevu musí zajistit tavení elektrody a vznik stabilní katodové nebo anodové skvrny

MECHANICKÉ ÚČINKY OBLOUKU

Získání hlubokého závaru je obecným požadavkem kladeným na jednotlivé metody svařování. Síla působící na tavnou lázeň je vyvozena celou řadou faktorů, které mají různou míru vlivu a závisí na parametrech svařování. Největší vliv u všech metod svařování má tlak proudu plazmatu. Tento tlak je vyvolán vysokou rychlostí proudění

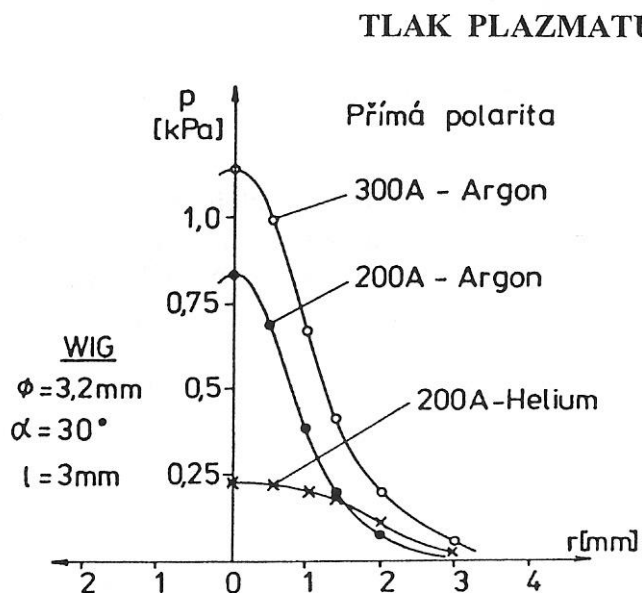
plazmatu, která dosahuje až 100 m.s^{-1} a silně závisí na prostředí ochranného plynu, především na jeho měrné hmotnosti.

Nejvyššího tlaku se dosahuje u svařování v CO_2 a nejnižšího u He.

U metody WIG se projevuje ještě reaktivní tlak par unikajících z aktivní oblasti tavné lázně, případně tlak proudu kovových par tryskajících z přehřátého povrchu elektrody. U metod kde dochází k tavení elektrody přistupuje ještě kinetická energie kapek vymrštěných účinkem „pinch efektu“ a urychlených proudem plazmy.

Obrázek 3.2 ukazuje vliv tlaku plazmatu na anodu u přímé polarity u WIG svařování.

Průměr wolframové elektrody 3,2 mm, úhel broušení 30° a délka oblouku 3mm.



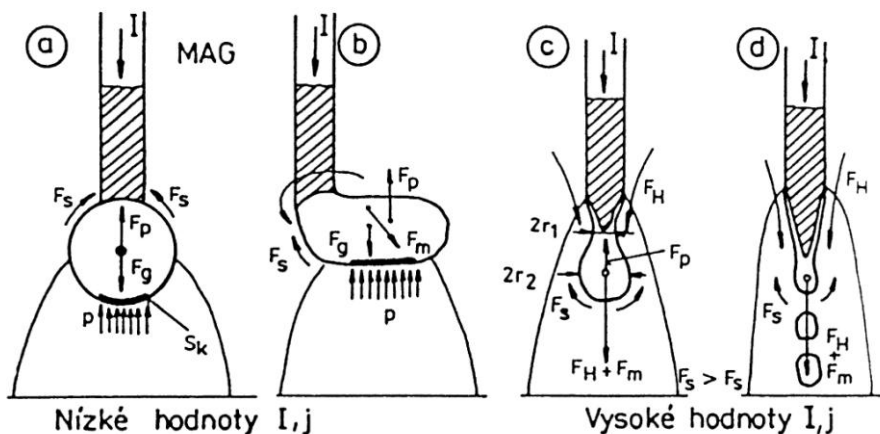
Obr. 3.2 Tlak plazmatu působící na anodu.

SÍLY PŮSOBÍCÍ NA KAPKY ROZTAVENÉHO KOVU

Při přenosu nataveného materiálu elektrody do svarové lázně se uplatňuje složitý systém silového působení. Velikost, směr i výslednice sil jsou určovány svařovacími charakteristikami – proudová hustota, průměr elektrody, polarita atd. Při hoření oblouku a tavení elektrody ovlivňují tyto faktory velikost, tvar a frekvenci kapek :

- fyzikální vlastnosti roztaveného kovu (povrchové napětí, viskozita, teplota tavení a bod varu)
- vlastnosti prostředí (teplota, chemické interakce, tepelná vodivost)
- technologické parametry (proud, napětí, proudová hustota)

Na kapku působí jednotlivé síly s různým vlivem - obr. 3.3



Obr.3.3 Síly působící na kapku tavící se elektrody při různých proudových hustotách:
a, bpři nízkém proudu, c,d při vysokém proudu

a) Síla povrchového napětí – $F_s = 2\pi \cdot r \cdot \gamma$ (3.6)

Tato síla se snaží udržet kapku na konci elektrody a získat kulový tvar (poloměr kapky– r). Síla klesá se vzrůstající teplotou a při nízkých proudech je povrchové napětí γ poměrně vysoké a na elektrodě se udrží i poměrně velká kapka. S růstem proudu se zvyšuje teplota a povrchové napětí klesá.

b) Síla vyvolána tlakem kovových par – $F_p = \text{konst} \cdot S_s \cdot I \cdot j$ (3.7)

Síla F_p působí proti oddělení kapky z důvodu tlaku odpařovaného kovu tryskajícího z katodové nebo anodové skvrny. K tlaku mezi elektrodou a tavnou lázní se přičítá i reakční tlak par. S_s – plocha katodové skvrny I – svařovací proud

c) Gravitační síla – $F_g = m \cdot g$ (3.8)

Gravitační síla má malý vliv pouze při svařování v polohách.
 m – hmotnost kapky, g – gravitační zrychlení

d) Elektromagnetická síla – $F_m = \text{konstanta} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$ (3.9)

Elektrický proud protékající soustavou elektroda – oblouk – základní materiál vytváří elektromagnetické pole, jehož silové účinky (Lorenzovy síly) působí v radiální i axiálním směru. I – svařovací proud, r_2 – poloměr kapky, r_1 – poloměr v místě seškrcení.

Proud procházející ohřátým koncem elektrody indukuje válcové magnetické pole, které působí **radiální silou (pinch efekt)**, která má výrazný vliv na zúžení průřezu konce elektrody. V průběhu seškrcování ohřátého konce elektrody začne působit **axiální síla F_m** , která vzrůstá v závislosti na zmenšujícím se průřezu krčku r_1 . Elektromagnetická síla F_m má nejvyšší vliv na přenos kovu v oblouku a výrazná axiální složka umožňuje svařovat v libovolných polohách.

e) Hydrodynamická síla F_h

Síla F_h působí při vysokých proudových hustotách, kdy plazma proudí rychlostí kolem 100 m.s^{-1} napomáhá oddělení kapek z elektrody a urychluje kapky směrem do tavné lázně. Síla F_h má vliv především na oddělení a urychlení drobných kapek při sprchovém přenosu.

Celkové působení uvedených sil zajišťuje oddělování kapek v závislosti na podmínkách svařování. Hlavními faktory pro přenos jsou svařovací proud a proudová hustota. Při vysoké proudové hustotě a vysokém proudu mají dominantní vliv síly hydrodynamická a elektromagnetická. Současně roste teplota katodové skvrny a klesá hodnota povrchového napětí. Výsledkem těchto sil je zmenšování průměru kapek. Při malých proudových hustotách jsou magnetické a hydrodynamické síly velmi malé a dominující vliv má povrchové napětí. Tvoří se velká kapka, která se silou F_p může vychýlit mimoose a vlivem F_m dochází k rotaci kapky.

VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA OBLOUKU

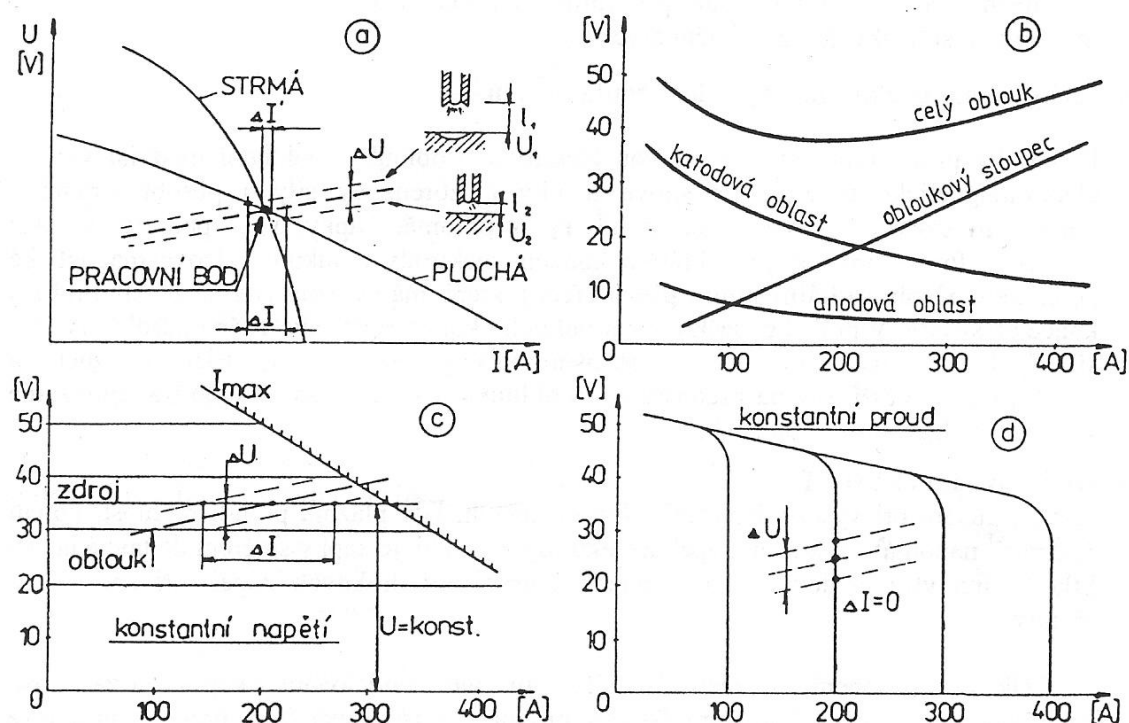
Statická voltampérová charakteristika oblouku vyjadřuje závislost proudu na napětí oblouku při konstantní délce oblouku. Na vlastní tvar a polohu charakteristiky oblouku má značný vliv chemické složení elektrody, geometrie hrotu elektrody, složení plazmy oblouku i průměr elektrody.

Z těchto důvodů se někdy používá tzv. **standardní statická charakteristika oblouku**:

MMA (111)	$U = 20 + 0,04 \cdot I$	[V]
MAG (135)	$U = 15 + 0,035 \cdot I$	[V]
WIG (141)	$U = 10 + 0,04 \cdot I$	[V]

Vliv statické charakteristiky zdroje a oblouku na změnu parametrů je na obr. 3.4 a) Sloupec oblouku je spotřebič s konstantním elektrickým odporem. V anodové a katodové oblasti má charakter spotřebiče s klesajícím odporem. Jednotlivé charakteristiky částí oblouku jsou zobrazeny na obr. 3.4 b)

Jednotlivé technologie se projevují různými statickými charakteristikami závislými na parametrech prostředí v kterém oblouk hoří.



Obr. 3.4 Statické charakteristiky zdrojů, oblouků a jeho částí.

- vliv ploché a strmé charakteristiky na kolísání proudu
- statická charakteristiky částí oblouku
- vliv zdroje s konstantním napětím
- vliv zdroje s konstantním proudem

PŘENOS KOVU PŘI SVAŘOVÁNÍ OBALENOU ELEKTRODOU

Při svařování obalenou elektrodou je proudová hustota podstatně nižší ($30 - 50 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$) než u svařování MIG/MAG.

Elektromagnetická síla F_m je proto výrazně menší. Velké množství plynů uvolněných při rozkladu organických látek a uhličitánů z obalu elektrody proudí vysokou rychlostí kolem kovového tavicího se jádra elektrody a napomáhá k oddělení a urychlení kapek. Látky obsažené v obalu výrazně ovlivňují povrchové napětí a viskozitu kapek i tavné lázně. Zásadité sloučeniny obalu bazické elektrody zvyšují povrchové napětí a způsobují přenos kovu a velkými kapkami a častými zkraty.

Naproti tomu kyselý charakter obalu viskozitu a povrchové napětí snižuje a zajišťuje kapkový přenos drobnými kapkami kovu s malou frekvencí zkratů. Celkově je teplota oblouku, svarové lázně a strusky u svařování bazickým obalem nižší než u kyselého, nebo rutilového typu obalu.

Foukání oblouku

Vlastní elektrický oblouk je pružný (plynný) vodič na který působí stejné síly jako na běžný kovový vodič a vytváří kolem sebe magnetické pole. Vzhledem k ohybu magnetického pole v místě přechodu z oblouku do materiálu dochází k nestejnomyšlnému rozdělení siločar pole a vychylování oblouku z osy elektrody do míst s nižší hustotou siločar. Na vychylování oblouku má vliv také značně nerovnoměrné rozdělení proudu ve svařenci a vznik elektromagnetického pole různé intenzity. Další příčinou foukání oblouku je zbytková magnetizace materiálu po nedestruktivních zkouškách.

Odhaduje se, že na 1cm délky oblouku při proudu 100 A působí síla 0,01g.

Foukání se výrazněji projevuje na okrajích svařence kde se oblouk vychyluje ke středu, blízko výztužných žeber nebo koutů svařence. Foukání se projevuje také při svařování dvěma svářeči blízko sebe.

Účinky foukání oblouku mohou být tak silné, že oblouk ohřívá jiné místo než kam dopadá roztavený materiál elektrody a svar nemá dostatečně hluboký závar. Vzniká studený spoj bez metalurgického spojení.

Omezení foukání oblouku se dá docílit přemístěním uzemňovací svorky nebo sklonem elektrody proti směru foukání, zkrácením vzdálenosti svorky od oblouku a zvýšením počtu stehových svarů. Při svařování střídavým proudem jsou obtíže s foukáním oblouku podstatně menší než u stejnosměrného.

4. SVAŘOVACÍ ZDROJE PRO OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ

Svařování elektrickým obloukem patří mezi technologie tavného svařování, při kterém se využívá teplo elektrického oblouku. Vysoká teplota oblouku zajišťuje koncentrování velkého množství tepla v malém prostoru a v důsledku toho dosažení rychlého natavení svarových ploch základního materiálu a natavení přídavného materiálu.

Zdroje svařovacího proudu dodávají elektrickou energii potřebnou pro zapálení a hoření elektrického oblouku, tzn., že dodávají do uzavřeného svařovacího obvodu elektrický proud požadovaných vlastností pro danou metodu svařování.

Požadavky na svařovací zdroje:

Na svařovací zdroje pro obloukové svařování jsou kladeny tyto požadavky :

- dobré zapalování oblouku a stabilní oblouk,
- plynulá a jemná regulace svařovacího proudu, eventuálně i napětí dle způsobu svařování,
- stálý výkon a vysoká účinnost,
- napětí naprázdno musí odpovídat druhu proudu a způsobu svařování a nesmí být
- vyšší než přípustné hodnoty,
- statická charakteristika musí odpovídat způsobu svařování,
- musí mít odolnost proti krátkodobým zkratům při zkratovém přenosu kovu z elektrody,

- dynamická charakteristika musí zabezpečit po zkratu rychlý nárůst svařovacího napětí,
- konstrukce musí zajistit bezpečnost provozu v souladu s platnými normami a předpisy,
- jednoduchá a nenáročná obsluha,
- vysoká provozní spolehlivost, snadná detekce závad a jejich rychlé odstranění,
- přiměřené pořizovací a nízké provozní náklady.

Obloukové svařovací zdroje musí vyhovovat požadavkům technologie svařování a bezpečnostním předpisům. Svařovací zdroje jsou stavěny pro jmenovité napájecí napětí fázové (230 V 50 Hz) nebo napětí sdružené (400 V 50 Hz) případně napětí třífázové (3 x 400 V 50 Hz) elektrorozvodné spotřebitelské sítě.

Napětí naprázdno obloukových svařovacích zdrojů musí pro prostředí bez zvýšeného nebezpečí úrazu elektrickým proudem vyhovovat těmto požadavkům :

- a) u zdrojů stejnosměrného svařovacího proudu může být špičková hodnota napětí naprázdno maximálně 113 V
- b) u zdrojů střídavého svařovacího proudu může být špičková hodnota napětí naprázdno maximálně 113 V a efektivní hodnota napětí maximálně 80 V.

4.1 ROZDĚLENÍ SVAŘOVACÍCH ZDROJŮ

Svařovací zdroje pro obloukové svařování se dělí dle :

1. způsobu přeměny energie na :
 - zdroje rotační (svařovací dynamo)
 - zdroje statické, netočivé (svařovací transformátory, usměrňovače, měniče)
2. druhu dodávaného proudu na :
 - zdroje stejnosměrného proudu (svařovací dynamo)
 - zdroje usměrněného proudu (svařovací usměrňovače, měniče)
 - zdroje střídavého proudu (svařovací transformátory)

Svařovací zdroje statické (netočivé) se dělí na :

- A) zdroje se síťovým transformátorem
 - a) zdroje střídavého proudu :
 - svařovací transformátory
 - b) zdroje stejnosměrného proudu :
 - svařovací usměrňovače neřízené
 - svařovací usměrňovače řízené
- B) zdroje bez síťového transformátoru
 - svařovací měniče (invertory)

4.2 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY SVAŘOVACÍCH ZDROJŮ

Statické charakteristiky

Statická charakteristika zdroje svařovacího proudu je křivka závislosti pracovního napětí zdroje na svařovacím proudu při ustáleném stavu a určitém nastavení

regulačního stupně zdroje. Hodnoty charakteristiky se získají měřením napětí a proudu v elektrickém obvodu svařovacího proudu, do kterého je zapojené regulační zařízení. Krajní body zatěžovací statické charakteristiky zdroje jsou určeny dvěma stavy – stav naprázdno a stav nakrátko.

Při stavu naprázdno svařovacím obvodem neprotéká žádný proud a napětí zdroje je nejvyšší

– napětí naprázdno. Se stoupajícím proudovým zatížením napětí na zdroji klesá. Při stavu nakrátko (kdy je elektroda v kontaktu se svařovaným materiálem) svařovacím obvodem protéká nejvyšší proud – proud nakrátko (zkratový proud) a napětí na zdroji je přibližně nulové.

Podle průběhu statické charakteristiky v okolí pracovního bodu, tzn. podle strmosti charakteristiky se určují charakteristické vlastnosti svařovacích zdrojů :

- zdroje s konstantním napětím (tzv. tvrdé zdroje) vykazují se zvyšováním svařovacího proudu pouze malé změny napětí zdroje, zatěžovací charakteristika těchto zdrojů je plochá,
- zdroje s konstantním proudem (tzv. měkké zdroje) se změnou napětí na oblouku vykazují pouze nepatrné změny svařovacího proudu, jejich zatěžovací charakteristika je strmá,
- zdroje s konstantním výkonem mají při rostoucím svařovacím proudem pokles napětí na zdroji takový, že jejich součin $U \cdot I$ (výkon) je možno považovat za konstantní, mají zatěžovací charakteristiku mírně klesající (polostrmou charakteristiku).

Některé svařovací zdroje mají možnost přepínat sklon statické zatěžovací charakteristiky.

Každý zdroj svařovacího proudu poskytuje v rámci tzv. regulačního rozsahu celý svazek statických zatěžovacích charakteristik. Nastavování jednotlivých aktuálních charakteristik nacházejících se mezi krajními zatěžovacími charakteristikami regulačního rozsahu lze realizovat buď stupňovitým nebo plynulým přepínáním. Pro ruční svařování elektrickým obloukem je vhodný svařovací zdroj se strmou statickou charakteristikou, kdy velká strmost zatěžovací charakteristiky zdroje v okolí pracovního bodu zajišťuje při relativně velkém kolísání napětí na oblouku (při měnění se délce elektrického oblouku) nepatrné změny svařovacího proudu. V případě, že by strmost dosáhla hodnoty 90°

(statická charakteristika v okolí pracovního bodu je kolmá na osu proudu), by potom při kolísání délky oblouku se hodnota svařovacího proudu vůbec neměnila. Délka elektrického oblouku, která ovlivňuje přímo napětí na oblouku, se může měnit např. v důsledku neklidného vedení elektrody nebo vinou nerovnosti povrchu materiálu.

Pro automatické svařování pod tavidlem nebo poloautomatické svařování v ochranných atmosférách jsou používány k regulaci délky oblouku zdroje svařovacího proudu s plochou statickou charakteristikou. Nastavená délka elektrického oblouku zůstává nezměněna v případě, kdy rychlost podávání elektrody (drátu) je stejná jako rychlost jejího odtavování. Rychlost odtavování elektrody je závislá na velikosti svařovacího proudu. Posun drátu do hořáku (rychlost podávání elektrody) je konstantní. V případě, že z nějakého důvodu dojde např. ke zkrácení délky oblouku a v důsledku

toho ke snížení napětí na oblouku, potom plochá zatěžovací charakteristika zdroje zajistí zvýšení svařovacího proudu a tím i zvýšení odtavovací rychlosti elektrody. Délka oblouku se tak postupně zvětší na původně nastavenou hodnotu. Tato tzv. samoregulační funkce ploché zatěžovací charakteristiky je účinná i v opačném případě, kdy dojde ke zvětšení délky oblouku.

4.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH TYPŮ SVAŘOVACÍCH ZDROJŮ

a) Rotační svařovací zdroje

Rotační svařovací zdroje generují stejnosměrný proud. Nejčastěji jsou tvořeny svařovacím dynamem, které je poháněno buď elektromotorem nejčastěji třífázovým asynchronním nebo spalovacím motorem zážehovým nebo vznětovým tam, kde není k dispozici elektrorozvodná síť. Svařovací dynamo a motor tvoří dohromady jeden konstrukční celek na společném podvozku – svařovací agregát. Svařovací dynamo má statickou charakteristiku strmou, dává měkký oblouk vhodný pro ruční svařování obalenou elektrodou a také pro metodu WIG případně MIG / MAG. Regulace svařovacího proudu v rámci regulačního rozsahu je plynulá a zajišťuje se změnou buzení magnetického pole statoru. Regulátor pro nastavování svařovacího proudu může být umístěn buď přímo na svařovacím agregátu nebo mimo něj při dálkovém ovládní svařovacího zdroje. Elektrický proud se ve svařovacím dynamu vyrábí indukcí ve vodičích kotvy (rotoru), otáčející se v elektromagnetickém poli statorového vinutí. Rotační svařovací zdroje nesplňují současná kritéria ekonomické efektivity svarového spoje. Nevýhodou těchto zdrojů je velká hmotnost, hluchost a vysoká spotřeba elektrické energie v důsledku poměrně velkých ztrát energie při chodu naprázdno. U nás se dříve vyráběly a používaly rotační svařovací zdroje pod obchodním označením TRIODYN.

b) Svařovací transformátory

Svařovací transformátor pro obloukové svařování je zdrojem většinou jednofázového střídavého proudu. Každý transformátor se skládá ze železného jádra (ve tvaru rámu, prstence apod.) tvořeného tenkými ocelovými plechy (v chem. složení je 8 až 10 % Si), primární a sekundární cívky, kde vinutí obou cívek je z izolovaných Cu nebo Al vodičů (drátů kruhového, čtvercového nebo obdélníkového průřezu). Primární vinutí je připojeno na síť, sekundární vinutí do svařovacího obvodu. Střídavý proud ze sítě protékající vinutím primární cívky indukuje střídavé elektromagnetické pole procházející převážně železným jádrem (magnetickým obvodem) transformátoru. V důsledku toho vzniká na principu elektromagnetické indukce ve vinutí sekundární cívky střídavé napětí, které po zapálení oblouku vyvolá v uzavřeném svařovacím obvodu vznik sekundárního (svařovacího) proudu. Regulace svařovacího proudu může být stupňovitá nebo plynulá. Statická zatěžovací charakteristika je mírně klesající (polostrmá). Svařovací transformátory jsou vhodné většinou pro ruční svařování obalenými elektrodami, případně též pro metodu WIG, u které zvláště ke zlepšení stability hoření oblouku je používán vysokofrekvenční ionizátor jako zdroj vysokonapěťových impulsů zapojený buď paralelně nebo sériově v sekundárním vinutí transformátoru. V porovnání s rotačními zdroji svařovacího proudu mají svařovací

transformátory nízkou spotřebu při chodu naprázdno, lepší účinnost (85 až 97 %), ale účinník $\cos \varphi$ bývá malý (0.5 až 0.7).

Nejčastější provedení regulace proudu svařovacích transformátorů :

1) Svařovací transformátor s primárním přepínačem

Přepínačem se mění počet závitů na primárním vinutí a tím i vzájemný poměr počtu závitů na primáru a sekundáru. Na základě toho se stupňovitě mění svařovací proud a v opačném poměru napětí naprázdno.

2) Svařovací transformátor se sekundárním přepínačem

Jednotlivé části sekundárního vinutí se přepínačem připojují k vinutí na vloženém jádru. Svařovací proud se mění stupňovitě, mění se též napětí naprázdno.

3) Svařovací transformátor s rozptylovým jádrem

Rozptylové jádro je posuvné nebo otočné mezi primárním a sekundárním vinutím a tvoří magnetický bočník. Podle polohy jádra (magnetického bočníku) se bude měnit podíl magnetického toku uzavíraného jádrem k magnetickému toku procházejícímu vinutím sekundární cívy. Tím se bude měnit plynule svařovací proud.

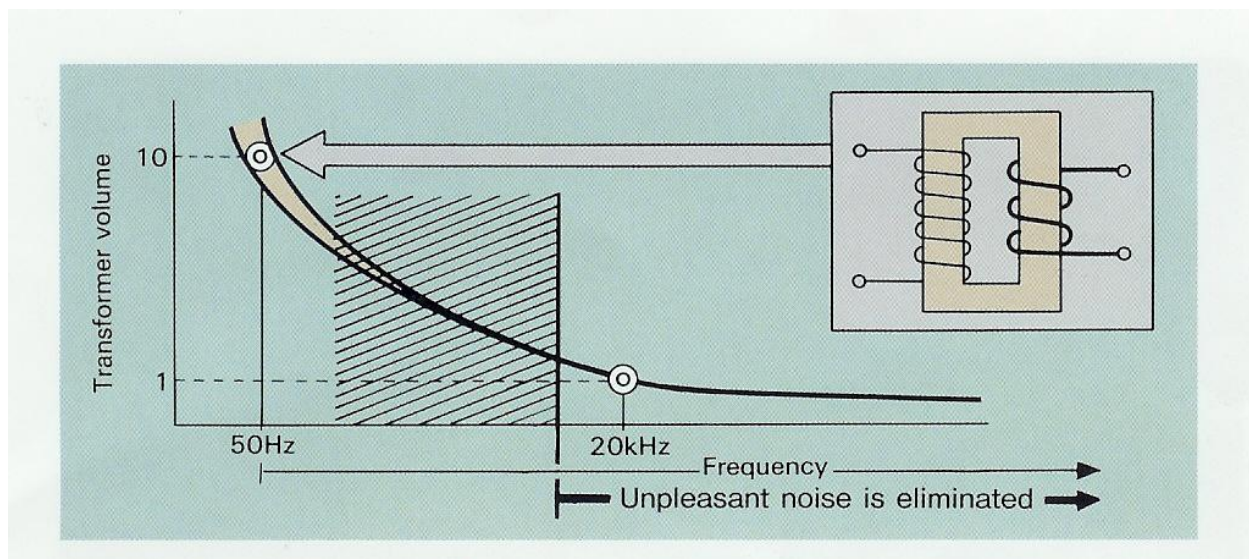
c) Svařovací usměrňovače

Svařovací usměrňovač je zdroj stejnosměrného (usměrněného) proudu. Skládá se ze síťového transformátoru a příslušných usměrňovacích prvků zapojených v sekundárním obvodu transformátoru. Transformátor bývá buď jednofázový pro vstupní napájecí napětí fázové (230 V 50 Hz) případně napětí sdružené (400 V 50 Hz) nebo třífázový pro vstupní napájecí napětí třífázové (3 x 400 V 50 Hz). Usměrňovací prvky jsou tvořeny polovodičovými křemíkovými diodami nebo tyristory použitými u jednofázových svařovacích zdrojů v zapojení dvoucestného můstkového usměrňovače (tzv. Graetzovo zapojení) nebo u třífázových svařovacích zdrojů v zapojení šesticestného můstkového usměrňovače. Zvlnění výstupního usměrněného napětí u jednofázového usměrňovače je relativně velké, frekvence zvlnění je dvojnásobkem síťové frekvence. U třífázového usměrňovače je zvlnění výstupního usměrněného napětí podstatně menší, frekvence zvlnění je šestinásobkem síťové frekvence. Třífázový svařovací usměrňovač je vhodný pro velké proudové zatížení, má dobré svařovací vlastnosti a ve srovnání s jednofázovým svařovacím usměrňovačem elektrorozvodnou napájecí síť zatěžuje symetricky.

d) Svařovací invertorové zdroje

Invertorové svařovací zdroje jsou primárně řízené zdroje s výkonovými tranzistory, pracují na principu středofrekvenčních měničů (střídačů) o frekvenci 20 až 100 kHz a v současné době jsou nejprogresivnější koncepcí moderních svařovacích zdrojů. Základním rysem invertorových zdrojů je umístění transformátoru v energetickém řetězci

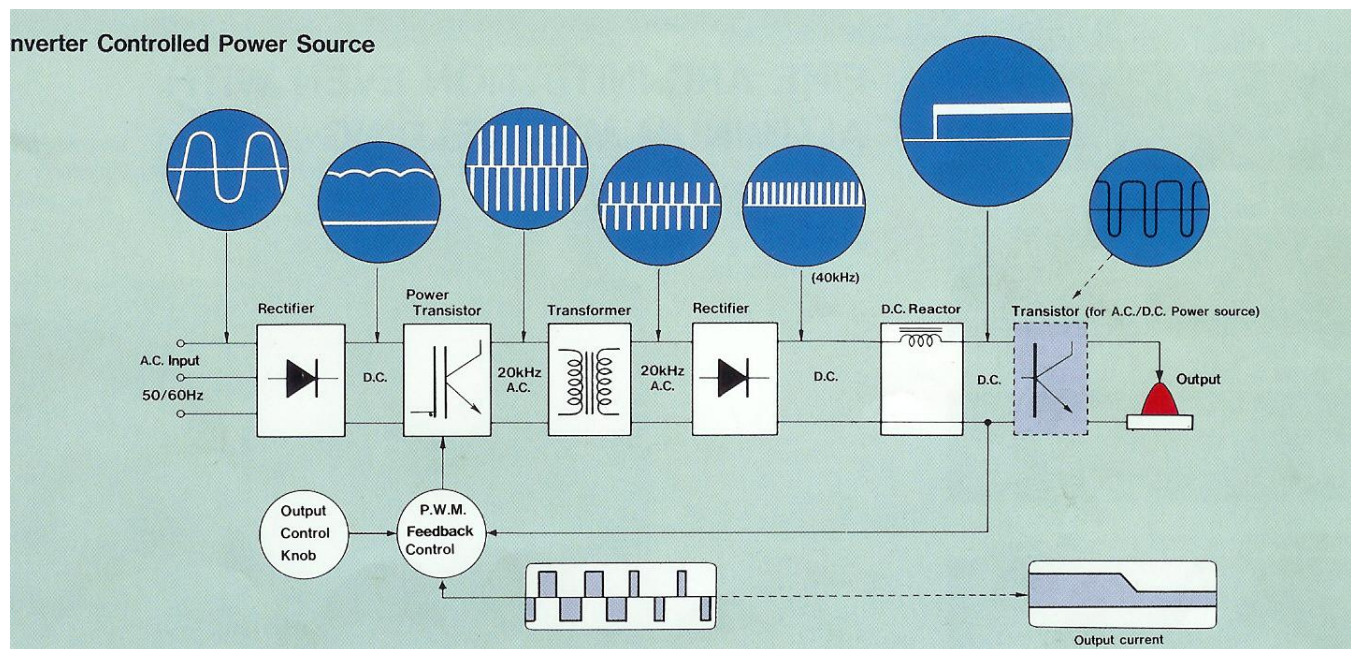
až za spínacím tranzistorem – obr. 4.2. Důvodem tohoto uspořádání je závislost hmotnosti a objemu transformátoru na jeho pracovní frekvenci. Čím vyšší frekvence, tím menší objem a také hmotnost – obr.4.1.



Obr.4.1 Závislost objemu transformátoru na frekvenci

Proto mají tyto zdroje malou hmotnost i malé rozměry, aniž by došlo k poklesu jejich výkonnosti. Proudová hmotnost prakticky nepřesahuje hodnotu 0.05 kg/ A. Další předností je vysoká hodnota elektrické účinnosti (cca 90 %). Aby bylo možno využít vysokou taktovací frekvenci, je nutno střídavé síťové napětí nejprve usměrnit. Stejnosměrné napětí, které je k dispozici za primárním usměrňovačem, se prostřednictvím tranzistorového spínače přemění na vysokou frekvenci. Výstupní napětí transformátoru se pak následně ještě usměrní.

Základem celého zařízení je řídicí elektronická jednotka, která reguluje vzájemnou součinnost funkčních bloků svařovacího zdroje s jednotkami podávání drátu a dodávky ochranného plynu, kontroluje správnou činnost zařízení, komunikuje s obsluhou prostřednictvím displeje pro nastavování a kontrolu parametrů, zároveň funguje jako knihovna programů. U větších zařízení je řídicí systém svařovacího zdroje vybaven také výstupem pro periferní zařízení pořizující trvalý záznam průběžně sledovaných vybraných provozních parametrů (tiskárna, zapisovač, apod.) nebo pro komunikaci s externím počítačem prostřednictvím kterého lze programovat speciální průběhy jednotlivých parametrů v závislosti na reálném čase.



Obr.4.2 Schéma investoru

Konstrukce invertorových svařovacích zdrojů dává předpoklady pro :

- vysoký a stabilní svařovací výkon,
- optimální různě nastavitelné statické charakteristiky v režimech MIG, MAG, WIG a ROE,
- jednoduchou a nenáročnou obsluhu,
- univerzálnost použití,
- možnost výstupu pro počítačové zpracování dat při řízení a kontrole jakosti,
- možnost snadné komunikace s automatizovanými a robotizovanými pracovišti,
- vysokou provozní spolehlivost, popř. snadnou detekci závad a jejich rychlé odstranění,
- přiměřené pořizovací a nízké provozní náklady.

Digitální svařovací zdroj

Řídící elektronická jednotka tohoto zdroje je výsledkem revolučního pokroku ve vývoji svařovacích zdrojů. Přináší plnou digitalizaci jejich systémů. Použití digitálních signálových procesorů zajišťuje vysokou operační rychlost, která je nezbytná pro rychlé zpracování dat. Tím se otevírají netušené možnosti ovlivňování svařovacího procesu prostřednictvím software. Mimo to se zvyšuje přesnost a reprodukovatelnost dosažených výsledků svařování, protože se eliminují analogové polovodičové součástky, zatížené teplotním driftem. Komunikace mezi svařovacím zdrojem a perifériemi (podavač drátu, dálkový regulátor, atd.) se uskutečňuje prostřednictvím datové sběrnice centrálního mikropočítače. Všechny informace obousměrně přenášené umožňují odečítat případně měnit provozní data nebo nastavení parametrů nejen na

vlastním zdroji, ale též na podavači drátu nebo přímo na hořáku. Řídící mikropočítač zpracovává data s nejvyšší přesností a pečlivě kontroluje kritické svařovací parametry. Při svařování proběhne až 10 000 řídících a regulačních kroků za sekundu, kdy se porovnávají skutečné svařovací parametry se zadanými a v případě odchylky jsou okamžitě korigovány podle zadaných hodnot. Současně je kontrolováno síťové napětí, proud plynu, posuv svařovacího drátu a další podstatné funkce zařízení.

Synergický režim svařování

Ideální průběh celého svařovacího procesu, od přibližovací fáze před zapálením oblouku až po fázi zhasnutí oblouku a současném odtavení poslední kapky drátu, je dosažitelný jenom pomocí velkého počtu plynule nastavitelných parametrů. Nastavování tak velkého množství parametrů by obsluhu svařovacího zdroje velmi komplikovalo. S pomocí tzv. synergického režimu (ovládání jedním regulačním prvkem), kde jsou předprogramované parametry pro libovolnou kombinaci drát/plyn, může uživatel ovládat celé zařízení zcela jednoduchým

způsobem. Úkol optimalizace parametrů pro celou řadu základních i přídatných materiálů a ochranných plynů zde přebírá výrobce svařovacího zařízení. Tyto poznatky jsou uloženy ve formě databanky (tzv. knihovně programů) v elektronické paměťové jednotce. Uživatel nastaví přímo na svařovacím zdroji pouze průměr drátu, druh ochranného plynu a druh materiálu a vestavěný mikroprocesor se již postará o plynulé nastavení výkonu v celém rozsahu. Tím je zajištěno dosažení vysoké kvality prováděných svarů, produktivity a rychlosti procesu při výrazném zjednodušení obsluhy a ovládání. Chybná obsluha je zde prakticky vyloučena. Navíc, díky možnosti počítačového zpracování výsledků svařovacího procesu je dána i možnost sledování a kontroly svařovacích parametrů včetně energetické bilance.

Řídící systém svařovacího zdroje umožňuje navíc uživateli vytvořit a nastavit své optimální parametry pro jakýkoliv případ svařování, uložit je do paměti a v případě potřeby takto vytvořený vlastní program jednoduchým způsobem (stisknutím tlačítka) opětovně vyvolat.

Kromě toho si v některých případech může svářeč během svařovacího procesu dle okamžité potřeby prostřednictvím ovladače na rukojeti hořáku plynule regulovat proud (upravovat oblouk) a tím měnit svařovací výkon např. v rozsahu až o $\pm 50\%$ od hodnoty nastavené aktuálním svařovacím programem.



5. SVAŘOVÁNÍ RUČNÍ OBALENOU ELEKTRODOU.

Pro ruční svařování elektrickým obloukem se jako přídavné materiály používají obalené elektrody. Tyto se skládají z jádra a z obalu elektrody. Jádro elektrody tvoří drát průměru 1,6 2,0 2,5 3,2 4,0 5,0 a 6,0 mm.

Podle složení obalu rozdělujeme elektrody na:

- stabilizační,
- rutilové označení R,
- rutil-celulózové označení RC,
- rutil-kyselé označení RA,
- rutil- bazické označení RB,
- tlustostěnné rutilové označení RR,
- kyselé označení A,
- bazické označení B,

- celulózové označení C

Funkce obalu elektrod:

- funkce plynotvorná (při hoření oblouku vznikají z obalu kouře a plyny, které vytvářejí druh ochranné atmosféry a brání přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svarové lázni, např. celulóza, tepelný rozklad CaCO_3 na CO_2 a CaO),
- funkce ionizační (slouží v obalu pro usnadnění zapalování a hoření oblouku, např. soli alkalických kovů K a Na),
- funkce metalurgická – *rafinace* (snížení P a S) pomocí CaO se váže síra na CaS a manganem se váže na MnS , *desoxidace* (snížení O_2) pomocí prvků s vyšší afinitou ke kyslíku jako má Fe, např.: Mn, Si, Ti, Al. Vznikají oxidy MnO , SiO_2 , ..., které vyplouvají do strusky. a *legování* (především prvků náchylných k propalu – Cr, Mo, Ti, Ni, V atd.)

Technologie svařování obalenou elektrodou.

Svařování el. obloukem obalenou elektrodou je poměrně jednoduchou metodou svařování jak z hlediska parametrů svařování, tak i z hlediska poloh svařování.

Svařovací proud může svářeč nastavit podle údajů výrobce elektrod. Nemá-li k dispozici údaje o velikosti svařovacího proudu může použít následujících empirických údajů:

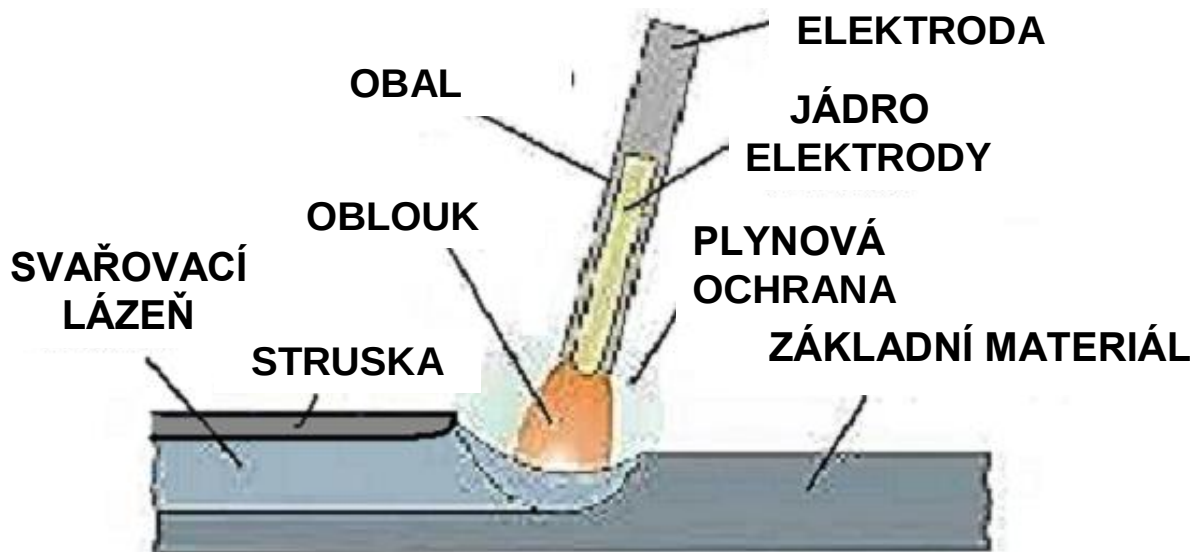
- pro elektrody s kyselým a rutilovým obalem činí svařovací proud $I(A) = (40 \text{ až } 55) \cdot d$
- pro elektrody s bazickým obalem činí svařovací proud $I(A) = (35 \text{ až } 50) \cdot d$

kde d je průměr jádra elektrody

Napětí na el. oblouku nemusí svářeč nastavovat a jeho hodnota je dána strmou statickou charakteristikou elektrického oblouku.

Při vedení elektrického oblouku a elektrody je třeba postupovat tak, že elektroda je mírně skloněna proti svarové housence, aby roztavená struska nepředbíhala elektrický oblouk a nezpůsobovala struskové vměstky ve svarovém kovu (vada svaru). Délka elektrického oblouku má být přibližně rovna průměru jádra elektrody.

Zakončení svarové housenky musí být takovým postupem, aby nedošlo vzniku staženiny v koncovém kráteru. Pro svářeče to znamená, že musí v koncovém kráteru se při odtavení svarového kovu provést ještě zatočení se s obloukem a odtavit ještě určité množství svarového kovu, aby bylo ještě z čeho dosazovat svarový kov a zabránit tak vzniku staženiny.



Obr. 5.1 Princip svařování ruční obalenou elektrodou

PRŮMĚR ELEKTRODY	PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ	
	PROUD [A]	NAPĚTÍ [V]
Ø 1.6 mm	30-80	20-24
Ø 2.0 mm	45-110	20-25
Ø 2.5 mm	60-120	21-26
Ø 3.2 mm	90-150	22-27
Ø 4.0 mm	120-180	21-27
Ø 5.0 mm	170-250	22-27
Ø 6.0 mm	200-330	22-28

Tab. 5.1 Orientační parametry svařování pro obalené elektrody

6. ÚVOD DO OBLOUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH

Současný vývoj oblasti svařování v ochranných plynech je hnacím motorem rozvoje svařování. Růst objemu svařovaných konstrukcí vykazuje především metoda MIG/MAG, která stále častěji nahrazuje ruční svařování obalenou elektrodou. Například svařování rozměrných hliníkových konstrukcí je doménou MIG svařování pulsním proudem, MIG/MAG metoda je také nejpoužívanější technologie aplikovaná na mechanizovaných a robotizovaných výrobních systémech. V oblasti svařování trubkových systémů chemických a tepelných zařízení je nejpoužívanější technologií metoda WIG - ruční svařování, nebo automatická verze orbitálního svařování.

Při obloukovém svařování v ochranných atmosférách hoří oblouk obklopen atmosférou ochranného plynu, která chrání elektrodu, oblouk, odtavující se kapky přídavného materiálu a tavnou lázeň proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku. Jednotlivé technologie se rozlišují podle druhu elektrody a ochranného plynu.

Zkratky pro označování metod jsou mezinárodně uznávané a základní jsou tyto:

- **WIG** Wolfram Inert Gas (něm.) Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu. V angličtině je metoda označená zkratkou **TIG** – Tungsten IG.
- **MIG** Metal Inert Gas (něm.) Svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu.
- **MAG** Metal Activ Gas (něm.) Svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu.

V zahraniční literatuře se můžeme setkat s těmito dalšími zkratkami:

MAGM	MAG svařování ve směsném plynu – něm.
MAGC	MAG svařování v CO ₂ . – něm.
MIGp	MIG svařování pulsním obloukem – něm.
MAGp	MAG svařování pulsním obloukem – něm.
GMAW	Gas Metal Arc Welding totéž jako MIG/MAG - am
GMAW – P	(pulsed)MIG/MAG pulsní – am.
GMAW - S	(short circuit) MIG/MAG zkratový přenos – am.
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding totéž jako WIG – am.
GTAW-P	WIG pulsní - am.
MOG	Metal Ohne Gas svařování tavící se elektrodou bez ochranného plynu
SMAW	Shielded Metal Arc Welding svařování obalenou elektrodou – am.
MMA	Manual Metal Arc welding ruční svařování obalenou elektrodou – am.
SAW	Submerged Arc Welding automatické svařování pod tavidlem – am.
PAW	Plasma Arc Welding svařování plazmou
PAC	Plasma Arc Cutting tepelné dělení plazmou

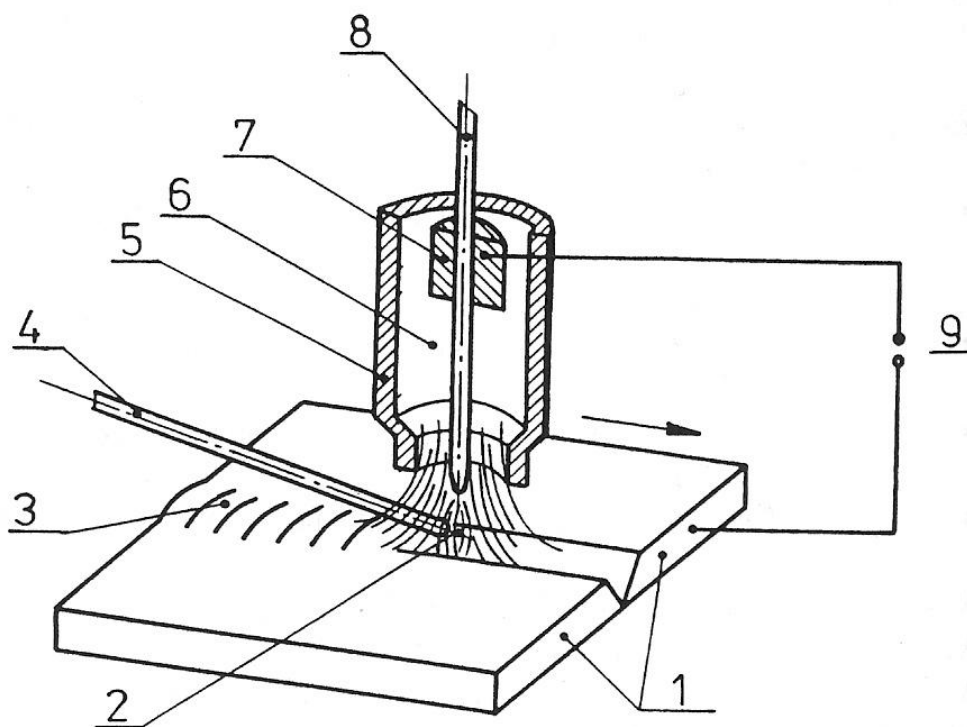
7. SVAŘOVÁNÍ METODOU WIG (TIG)

Při [svařování metodou WIG](#) hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě minimálně 99.995%. Používá se argonu, helia nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, nebo automatické svařování s podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování.

Obecně lze svařování rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další. Pro svařování uhlíkové oceli se metoda WIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z ekonomického hlediska. Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku např. titan a zirkon.

Lze svařovat i různorodé materiály – ocel s mědí, bronzem nebo niklovými slitinami a návary v oblasti renovací např. nástrojové oceli, niklové a kobaltové tvrdonávary.

Svařování WIG má výrazný růst objemu svářečských aplikací což se připisuje vysoké kvalitě spojů, operativností řízení procesu svařování a vysokému stupni automatizace a robotizace.



1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. přídavný materiál
5. plynová hubice

6. ochranný plyn
7. kontaktní kleštiny
8. wolframová elektroda
9. zdroj proudu

Obr.7.1 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu - WIG.

Svařování WIG má proti jiným metodám tavného svařování tyto metalurgické a technologické výhody:

- a) inertní plyn zabezpečuje efektivní ochranu svarové lázně a přehřáté oblasti základního materiálu před účinky vzdušného kyslíku,
- b) inertní plyn zabraňuje propalu prvků a tím i vzniku strusky - výsledkem je čistý povrch svaru,
- c) vytváří velmi příznivé formování svarové housenky na straně povrchu i kořenové části svaru,
- d) nevyžaduje použití tavidel, ale lze je použít,
- e) vytváří elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů,
- f) zajišťuje vysokou operativnost při svařování v polohách,
- g) zabezpečuje svary vysoké celistvosti i na materiálech náchylných na naplynění a oxidaci při zvýšených teplotách,
- h) jednoduchá obsluha a přesná regulace parametrů svařování,
- i) svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformace,
- j) svarová lázeň je viditelná a snadno ovladatelná,
- k) možnost velmi přesného dávkování množství tepla vneseného do svaru,
- l) svařovací oblouk je velmi flexibilní – jeho tvar a směr lze snadno ovládat magnetickým polem.

Z důvodu výše uvedené charakteristiky se svařování WIG používá v těchto oblastech:

- svařované konstrukce z vysokolegovaných ocelí pro chemický, farmaceutický a potravinářský průmysl, klasickou i jadernou energetiku
- žárupevné a žáruvzdorné oceli pro stavbu kotlů, tepelných výměníků a pecí
- titanové a speciální slitiny v oblasti výroby letadel a kosmické techniky
- svařování hliníkových slitin v oblasti dopravní techniky i všeobecného strojírenství.



Obr. 7.2 Moderní zdroje pro WIG metodu



Obr. 7.3 Ovládací panel

7.1 Svařování stejnosměrným proudem.

Svařování stejnosměrným proudem je základní způsob zapojení při svařování metodou WIG. Při tomto zapojení je elektroda připojená k zápornému pólu zdroje a svařovaný materiál na kladný (přímé zapojení). Rozdělení tepla oblouku je nerovnoměrné a přibližně 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla se přenáší do základního materiálu. Díky tomu není elektroda tepelně přetěžovaná a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Na velkou hloubku závaru má vliv i dopad elektronů, které svoji kinetickou energii přeměňují na tepelnou.

Svařování stejnosměrným proudem s přímou polaritou se používá pro spojování všech typů ocelí, mědi, niklu, titanu a jejich slitin. Tento způsob zapojení se dá použít i pro svařování hliníku v ochranné atmosféře směsi argonu a nejméně 75% helia. Při svařování hliníku stejnosměrným proudem se díky vysoké vodivosti helia předává do svarové lázně velké množství tepla, které umožňuje roztavení i povrchových oxidů. Oxidy se vlivem povrchových sil stahují na okraj taveniny a střed tavné lázně je čistý. Tento způsob svařování se používá především pro renovace a opravy rozměrných a silnostěnných hliníkových odlitků nebo svařenců. Umožňuje spojit i silnostěnné a tenkostěnné součásti především koutovým svarem.

Nepřímá polarita zapojení není z důvodu vysokého tepelného zatížení elektrody využívána a dá se vyjimečně použít pro svařování tenkostěnných svařenců z hliníku nízkým proudem.

7.2 Svařování střídavým proudem.

Svařování střídavým proudem se používá z důvodu čistícího účinku, při kladné polaritě elektrody na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Výrazným problémem při svařování hliníku je vrstva oxidu hlinitého, která chrání za běžných podmínek hliník proti další oxidaci. Vrstvička Al_2O_3 má však vysokou teplotu tavení 2050 °C a

při použití stejnosměrného proudu v argonu brání metalurgickému spojení, poněvadž pokrývá povrch roztaveného hliníku jehož teplota tavení je cca 658 °C.

Čistící účinek vzniká při zapojení elektrody na kladný pól zdroje. Na základním materiálu se vytvoří katodová skvrna, která není stabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy. Tato místa mají nižší emisní energii pro emisi elektronů a po zasažení katodovou skvrnou se oxidy snadněji odpaří. Druhá forma čistícího účinku se projevuje při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Argonové ionty o relativně vysoké hmotnosti, které jsou urychlené směrem k tavné lázni, působí na oxidy mechanickým účinkem. Dynamickým účinkem tohoto proudu dochází ke stažení vrstvy oxidu k okraji svarové lázně. Při kladném zapojení elektrody vzniká pouze malý závar. Vysoká hloubka závaru se dosahuje při zapojení elektrody na záporném pólu zdroje, kdy a do tavné lázně dopadají urychlené elektrony. Poměr kladné a záporné periody lze měnit funkcí – [balance](#).

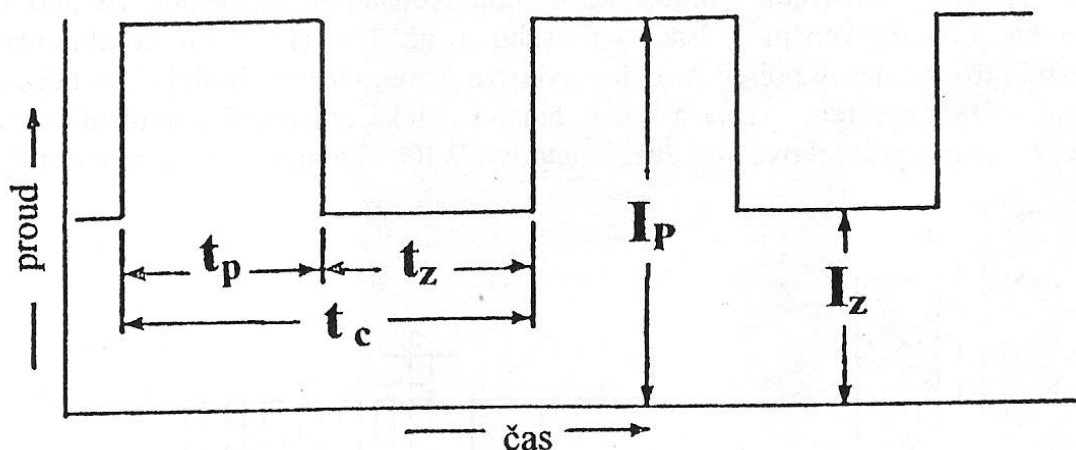
7.3 Svařování impulsním proudem.,

[Impulsní svařování](#) je nejnovější variantou WIG svařování, při kterém se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami a to základním proudem I_z a impulsním proudem I_p . Podle charakteru zdroje může být tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý, (obr.7.4) sinusový, lichoběžníkový nebo jiný.

Základní proud I_z jehož hodnota je všeobecně nízká (cca 10 – 15 A) zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase t_z . Pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což je výhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí. Naopak v průběhu kratší doby lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr. Toho se v praxi používá při požadavku zvláště hladkého svaru s plynulým přechodem do základního materiálu.

Impulsním proudem I_p v čase t_p dochází k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Rozměry svarové lázně definuje především hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu. Tímto je dosažena velice přesná regulace svářecího režimu, dávkování hodnoty vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Průměrná hodnota svařovacího proudu je při impulsním svařování nižší než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem a proto vykazují svary malou TOO i výborné plastické vlastnosti včetně nižší náchylnost na praskání a menší deformace.

Součet času pulsního proudu t_p a času základního proudu t_z dává celkový čas cyklu t_c určující frekvenci pulsního svařování.



Obr.7.4 Průběh pravoúhlého impulsního proudu.

Při impulsním svařování se používají tyto druhy modulace proudu:

- a) dlouhé pulsy, od 1 do 10 sec, pro tloušťku materiálu 4 až 6 mm,
- b) střední pulsy s frekvencí 1 až 100 Hz, při svařování tloušťek od 0,8 do 5 mm,
- c) velmi krátké pulsy s frekvencí 1 až 20 MHz, pro svary Ti , speciálních ocelí a malé tloušťky 0,2 až 0,8 mm

Rychlost svařování je při impulsním způsobu velice důležitým parametrem, protože zajišťuje dokonalé překrytí jednotlivých bodových svarů rovnoměrně na straně povrchu i kořene.

Rychlost musí být sladěna s ostatními parametry, především s frekvencí impulsů. Čím vyšší je frekvence, tím vyšší může být svařovací rychlost.

Výhody impulsního svařování:

- lepší celistvost, mechanické a plastické vlastnosti svarů
- snížení tepelného ovlivnění materiálu a tím menší deformace
- velmi dobré formování a vzhled svarové housenky
- snížení náchylnosti svarů na vznik mezikrystalické koroze u vysokolegovaných ocelí
- výhodný průřez svaru
- možnost svařování plechů tl. 0,5 až 5 mm bez použití podložek
- široká oblast regulace svařovacího proudu

Výše uvedené výhody impulsního svařování WIG se využívají v těchto oblastech :

- svařování tenkých plechů legovaných ocelí, mědi a měděných slitin,
- svařování různých tloušťek,
- jednostranně přístupné svary
- polohové svary
- svařování materiálů citlivých na přehřátí
- svařování kořene trubek větších tloušťek.

V současnosti je vyvinutý i systém dvouimpulsového svařování (Dual Pulse) pro vysoce kvalitní svary v rozmezí tl. 0,1 až 6 mm. Konstantní frekvence 16 500 Hz se superponuje na nízkofrekvenční pulsaci v rozsahu 1 až 100 Hz. Tato kombinovaná frekvence vyvolává trojrozměrný pohyb taveniny svarové lázně, který ovlivňuje krystalizaci, formování svaru, snížení spotřeby tepla a tím i tenzometrické ovlivnění.

7.4 SVAŘOVACÍ HOŘÁKY WIG.

Svařovací hořáky jsou nejzatíženější částí svařovacích zařízení.

Zajišťují přívod elektrického proudu k elektrodě, přívod a usměrnění ochranného plynu, fixování polohy wolframové elektrody, přívod a odvod chladicí vody.

Hořáky rozdělujeme na chlazené procházejícím plynem do cca 150A a vodou chlazené hořáky do 350 až 500A pro ruční, ale především strojní svařování.

Hořáky mají vyměnitelné kleštiny, které zajišťují pevné upnutí a proudové napájení wolframových elektrod. Pevné upnutí je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi kleštinou a wolframovou elektrodou. Kleštiny jsou vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu. Další tepelně zatíženou částí je plynová tryska, která usměrňuje proudění plynu do místa svařování.

Keramické trysky se používají pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem a kovové nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro strojní hořáky chlazené vodou.

Průměr plynové trysky se volí podle požadované plochy, kterou chceme chránit. Orientační průměry plynových trysek jsou v tabulce č. 7.1.

Tab. 7.1 Doporučené průměry plynových trysek.

Proudový rozsah (A)	Průměry plynové trysky (mm)
Do 70	6 – 9
70 – 150	9 – 11
150 – 250	11 – 13
250 – 300	13 – 15
300 – 500	15 – 18

Pro zlepšení plynové ochrany se často používají plynové čočky (sítko) obr. 8.7, které prodlouží laminární proudění plynu a usnadní přístup k místu svařování vysunutím elektrody.

Plynová sítko mohou snížit množství ochranného plynu až o 50% a umožňují vysunutí elektrody na 15 až 20 mm.

Pro svařování vysoce reaktivních kovů Ti, Zr atd. se k hořáku připevňuje boční kryt do kterého je přiváděn argon chrání svar při ochlazování do teplot 300 – 350 °C kdy již nehrozí nebezpečí oxidace.

Ke kontrole správného množství plynu na ochranné plynové trysce se používají trubkové průtokoměry s kuličkou. Ochranný plyn musí dokonale zajistit ochranu proti účinkům okolní atmosféry aby bylo zabráněno kontaminaci svarové lázně kyslíkem nebo dusíkem a wolframová elektroda byla chráněna proti oxidaci.

Optimální průtok plynu závisí na těchto parametrech:

- druh svařovaného materiálu,
- typ ochranného plynu,
- hodnota proudu,
- velikost plynové trysky,
- úhel sklonu hořáku,
- rychlost proudění okolního vzduchu,
- typ spoje,
- svařovací poloha.

Při použití směsi argonu s heliem se musí průtok plynu zvýšit zhruba o 30 % při padesátiprocentním podílu helia v argonu.

Pro zajištění dokonalého plynového prostředí pro zapálení oblouku je svařovací zařízení vybaveno funkcí předfuku plynu. Zapálení oblouku je zpožděno proti začátku proudění plynu o 2 až 5 sec. Naopak ochlazování elektrody a svarového kovu na teplotu, kdy nehrozí oxidace je zajištěno funkcí dofuku. Tato funkce zajišťuje proudění ochranného plynu ještě 5 až 10 sec po vypnutí proudu. Jestliže má elektroda modré nebo černé zbarvení je ochrana nedostatečná a doba proudění plynu je třeba prodloužit.

Každý hořák je vybavený spínačem elektrického proudu, který umožňuje dvoutaktní nebo čtyřtaktní funkci spínání svařovacího proudu. Hořáky nových moderních zdrojů umožňují v průběhu svařování měnit svařovací proud plynule nebo skokově na předem nastavené hodnoty proudu.

Některé hořáky jsou vybavené zvonovitým krytem pro odsávání zplodin svařování. Mechanický filtr pro čištění a ventilátor tvoří příslušenství svařovacího zdroje.

7.5 NETAVÍCÍ SE WOLFRAMOVÉ ELEKTRODY.

Netavící se elektrody používané při svařování WIG se vyrábějí ze spékaného wolframu, který má teplotu tavení 3380°C , teplotu varu 5700°C , měrný elektrický odpor $5,36 \cdot 10^{-8}$ ohmů a hustotu $19,1 \text{ g cm}^{-3}$.

Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy kovů – thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr) nebo yttria (Y), které jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Přísada oxidů snižuje teplotu ohřevu elektrody o 1000°C , zvyšuje životnost, zlepšuje se zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů. Zvýšení emise elektronů lze dosáhnout snížením výstupní práce při uvolnění elektronů. Prvky s nízkou výstupní prací (tab.8.2) však nejsou vhodné z důvodů mechanických vlastností jako katodový materiál a proto se přidávají k wolframovým elektrodám jako oxidická příměs. Při disociaci se thorium (Ce, Y, Zr, La atd.) uvolňuje a pokrývá hrot wolframové elektrody přičemž podstatně zvyšuje termoemisi elektronů. Delší životnost elektrody a vyšší proudovou zatížitelnost podporuje také vysoká teplota tavení oxidů.

Teploty tavení oxidů kovů, které se používají jako přísada do wolframových elektrod:

oxid thoričitý	Th O ₂	3300 °C
oxid lanthanitý	La ₂ O ₃	2300 °C,
oxid zirkoničitý	Zr O ₂	2700 °C,
oxid ceričitý	Ce O ₂	2600 °C,
oxid hafničitý	Hf O ₂	2900 °C,
oxid yttritý	Y ₂ O ₃	2700 °C

Naproti tomu **oxid wolframový WO₃** má teplotu tavení pouze 1473°C . Podstatně vyšší teploty tavení mají také nitridy uvedených kovů ve srovnání s nitridem wolframu.

Tab.7.2 Výstupní práce elektronů základních oxidických příměsí a wolframu.

Materiál	Výstupní práce elektronů (eV)
wolfram	4,24.....5,01
oxid thoričitý	2,03,0
oxid ceričitý	1,82,6
oxid lanthanitý	1,74,2
oxid ytritý	1,9 3,8

Volba typu elektrody závisí na druhu proudu a oblasti použití. Elektrody jsou normalizovány v ČSN EN 26 848 a jejich složení a barevné označení je uvedeno v tab.

Spotřeba netavicí se elektrody při zatížení proudem je cca 4 mm za hodinu.

Tab 7.3 Přehled druhů vyráběných wolframových elektrod.(ČSN EN 26 848)

Označení	Hmotnostní procento oxidů	Barevné označení
WP		Zelená
WT 10	ThO ₂ 0,9 - 1,2	Žlutá
WT 20	ThO ₂ 1,8 - 2,2	Červená
WT 30	ThO ₂ 2,8 - 3,2	Fialová
WT 40	ThO ₂ 3,8 - 4,2	Oranžová
WZ 8	ZrO ₂ 0,7 - 0,9	Bílá
WL 10	LaO ₂ 0,9 - 1,2	Červená
WC 20	CeO ₂ 1,8 - 2,2	Šedá
WL 20	La ₂ O ₃ 1,8 - 2,2	Modrá
WS 2	Vzácné zeminy	Tyrkysová
WLYC 10	La ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃ + CeO ₂ 0,8 – 1,2	Zlatá

Vyráběné průměry v mm: 0,5 1,0 1,6 2,0 2,4 3,0 3,2 4,0 4,8 5,0 6,0 6,4 8,0 10

Vyráběné délky v mm: 50 75 150 175

Označování wolframových elektrod se řídí těmito zásadami:

- 1) - první písmeno W značí wolfram jako základní prvek elektrod,
- 2) - druhé písmeno charakterizuje přísadu oxidů, T – oxid thoričitý, Z – oxid zirkoničitý,
- 3) L – oxid lantaničitý, C – oxid ceričitý,
- 4) - druhé písmeno P (pure – čistý) charakterizuje elektrodu z čistého wolframu,
- 5) - číslo při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů.

Každá dodávaná elektroda musí být na jednom konci označena min. 3 mm barevným páskem odpovídajícího barevného odstínu. Elektroda se brousí na konci bez barevného označení do požadovaného tvaru.

Průměr, druh a způsob broušení funkčního konce elektrody závisí především na těchto faktorech:

- druhu svařovacího proudu,
- polaritě na elektrodě při stejnosměrném proudu,
- velikosti svařovacího proudu v závislosti na druhu základního materiálu a jeho tloušťce,
- typu, hloubce a tvaru svarového úkosu.

Funkční konec elektrod pro stejnosměrný proud se brousí do tvaru kužele s vrcholovým úhlem v závislosti na svařovacím proudu. Pro svařování střídavým proudem se brousí do tupého konce a při zatížení svařovacím proudem se povrchově nataví do kulového tvaru. Při vlastním broušení je nutné orientovat elektrodu tak aby vzniklé rýhy byly v podélném směru, což zajišťuje hoření oblouku z konce elektrody.

Doporučené hodnoty vrcholového úhlu pro stejnosměrný proud:

Svařovací proud:	Vrcholový úhel:
do 20 A	30°
20 až 100 A.....	60° – 90°
100 až 200 A.....	90° – 120°
nad 200 A.....	120°

Tab. 7.4 Doporučené proudové zatížení wolframových elektrod.

Průměr elektrody (mm)	Stejnosměrný proud (A)		Střídavý proud (A)	
	Přímá polarita (- pól na elektrodě)		WP	WT,WL,WC,WZ
	WP	WT,WL,WC,WZ		
0,5	do – 20	do- 20	2 - 15	2 - 15
1,0	20 – 75	20- 80	10 – 50	15 – 60
1,6	75 – 140	70 – 150	30 – 70	60 – 100
2,0	120 – 170	100 – 180	40 – 90	70 – 130
2,4	150 – 200	130 – 225	50 – 110	80 – 160
3,0	170 – 240	160 – 250	80 – 150	120 – 200
3,2	200 – 260	180 – 275	100 – 170	140 – 220
4,0	250 – 320	250 – 350	150 – 225	180 – 275
4,8	280 – 450	300 – 500	180 – 300	250 - -400
5,0		320 – 530	220 – 320	260 – 420
6,4		400 – 650	270 – 400	300 – 500

Pozn.:Při použití nepřímé polaritě (elektroda na + pól) vydrží zatížení cca 10% proudu přímé polaritě

7.6 OCHRANNÉ INERTNÍ PLYNY.

Ochranné plyny zabezpečují ochranu netavící se elektrody, svarové lázně a její okolí proti vlivům okolního vzduchu, především proti oxidaci a naplynění. Současně vytvářejí příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilitu, přenos tepla do svaru i jeho tvarování.

Argon.

Argon (Ar) je jednoatomový plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu, který je inertní a nevytváří se žádným prvkem chemické sloučeniny. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu argonu při atmosférickém tlaku je $-185,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve vzduchu je argonu 0,934%. Argon má malou tepelnou vodivost (obr.7.5) a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV. Z těchto důvodů se oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot.

Hustota argonu je $1,784\text{ kg.m}^{-3}$ je tedy asi 1.4 krát těžší než vzduch a to přispívá k efektivnosti a velmi dobré schopnosti plynové ochrany především v poloze PA. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu.

Dnes vyráběná a běžně nabízená čistota plynu je označována 4.5 tj. 99,995 %.

Materiály s vysokou afinitou ke kyslíku jako je titan, tantal a zirkon však vyžadují ochranu plynem vyšší čistoty např. 4.8 – 99,998 %, nebo 5.0 – 99,999 %.

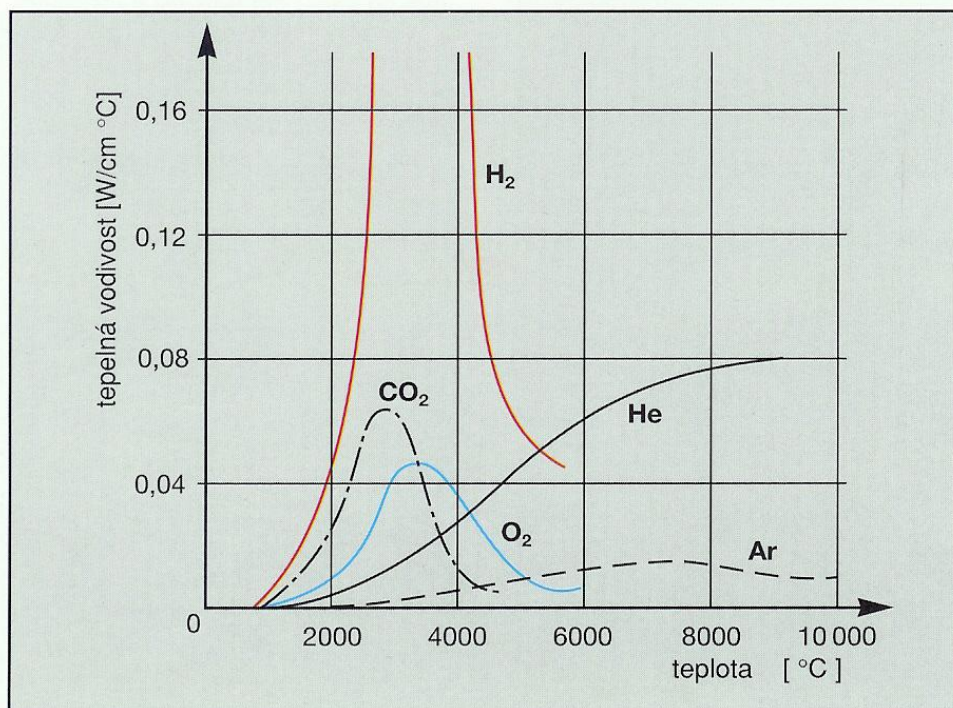
Ochranu argonu lze použít pro všechny svařitelné materiály a jeho použití je nejběžnější i z cenových důvodů.

Helium.

Helium (He) je jednoatomový inertní plyn, bez barvy a zápachu. Vyrábí se separací z některých druhů zemního plynu, kde se He vyskytuje v množství kolem 1%. Helium je velmi lehký plyn s hustotou $0,178\text{ kg.m}^{-3}$ a tato skutečnost snižuje efektivitu plynové ochrany a proto vyžaduje pro dokonalou ochranu svaru vyšší průtok plynu. Helium se vyrábí s velmi vysokou čistotou min. 99,996 % (4.6) s limitovaným obsahem nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry od 5 do 20 ppm. (ppm je desetitisíciná procenta)

Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon obr.7.5. Ionizační potenciál helia 24,6 eV je také vyšší než u argonu a proto se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce oblouku.

Tepelná vodivost komponentů ochranných plynů



Obr.7.5 Tepelná vodivost komponentů ochranných plynů.

Díky vysoké tepelné vodivosti je přenos tepla v oblouku velmi vysoký a proto se směsi s heliem používají pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí větších tloušťek především hliníku a mědi včetně jejich slitin. Použitím helia ve směsi s argonem se zvýší hloubka závaru a zvýší rychlost svařování. Svařování v čistém heliu vyžaduje také zdroje s vysokým napětím naprázdno až 100V a zapalování oblouku se provádí pod ochranou atmosférou argonu. He je velmi vhodné také pro mechanizované způsoby svařování.

Směsi argonu a helia.

Směsi argonu a helia tvoří samostatnou skupinu inertních plynů. Ve směsi jsou spojeny výhodné vlastnosti obou plynů a pro svařování WIG se nejčastěji používají tyto kombinace 70% Ar + 30% He, Ar-He 50/50, 30%Ar + 70% He. Se stoupajícím obsahem helia se zvyšuje napětí na oblouku a tepelný výkon oblouku, což se pozitivně projevuje na tvaru a rozměrech svaru. Při svařování v uvedených směsích se zvyšuje rychlost svařování, hloubka

závaru, nebo lze snížit předehřev kovů s vysokou tepelnou vodivostí. V dnešní době jsou směsi namíchány již v tlakových lahvích a směšovací zařízení se používá výjimečně.

Směsi argonu a helia se používají především pro svařování mědi a hliníku ručním nebo strojním způsobem a pro ostatní kovy se doporučují pro mechanizované svařování větších tloušťek. Např. rychlost svařování slitiny hliníku ve směsi ArHe 50/50 se zvýšila o 100% oproti čistému argonu.

Směsi argonu a vodíku.

Podobné vlastnosti jako argon s heliem má i směs argonu s vodíkem, který zlepšuje díky velmi vysoké tepelné vodivosti energetickou bilanci oblouku. Přídavkem vodíku 5 až 10% se zlepšuje také čistota povrchu svaru díky redukci oxidů. Vodík se však může používat jen pro svařování vysoce legovaných austenitických a austeniticko-feritických CrNi ocelí, nebo niklu a jeho slitin. Podílem až 10 % vodíku se zlepšuje tvar a hloubka závaru i rychlost svařování o 30 – 50 %.

Směs s vodíkem se nesmí použít pro svařování martenzitických i feritických CrNi ocelí, poněvadž způsobuje praskavost za studena a pro svařování hliníku a mědi z důvodu nebezpečí vysoké pórovitosti svaru. Díky redukčnímu charakteru vodíku je povrch svaru bez oxidů a nečistot.

Směsi argonu s dusíkem.

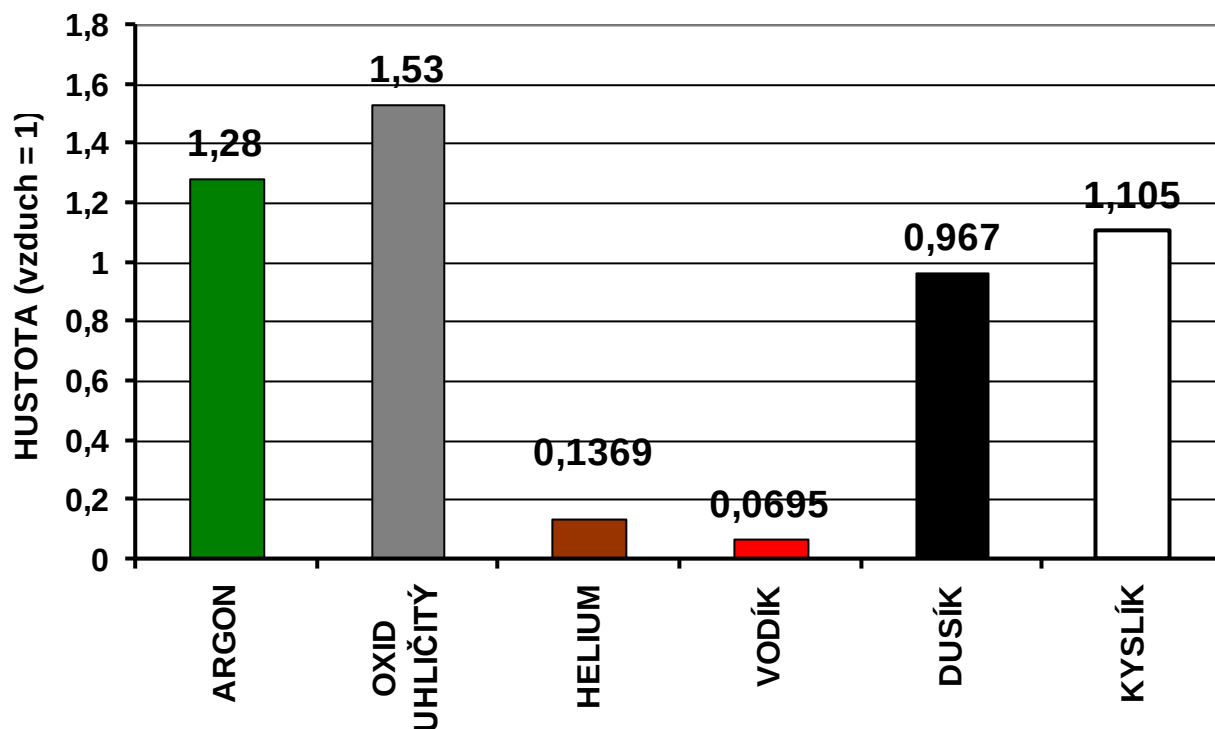
Dusík podobně jako vodík je dvouatomový plyn, který má vyšší tepelnou vodivost a přenáší do svarové lázně větší podíl tepla. Běžný obsah dusíku se pohybuje kolem 10% a používá se především pro svařování mědi a její slitin.

Formovací plyny pro ochranu kořene svaru.

Formovací plyny se používají proti oxidaci kořene svaru a vysokovyhřáté oblasti okolního základního materiálu. Používají se inertní, redukční nebo nereagující se svařovaným materiálem.

Pro svařování vysokolegovaných austenitických ocelí a niklových slitin můžeme jako formovacího plynu použít směs argonu s 2 až 10 % vodíku a nebo dusíku s 5 až 20 % vodíku. Tyto slitiny nejsou náchylné na vodíkovou křehkost. Všechny ostatní materiály Ti, Zr, martenzitické a feritické oceli atd. z důvodů nebezpečí vzniku trhlin nebo pórovitosti vlivem vodíku musíme chránit inertními plyny He, Ar.

Při svařování trubek nebo dutých těles ve svislé poloze se musí formovací plyn těžší než vzduch – Ar přivádět do spodní části svařovaného úseku, aby tvořící se plynový válec vytěsnil vzduch **bez promísení** směrem nahoru. Ze stejného důvodu se v případě lehčího plynu - dusík + vodík, nebo helium přivádí plyn do horní části a vytlačuje vzduch spodem.



Obr. 7.6 Srovnání hustoty plynů

7.7 PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY.

Přídavné materiály plní při svařování metodou WIG několik funkcí:

- doplnit objem svarového kovu a vytvořit svar požadovaného tvaru a průřezu,
- legovat svarový kov přísadami, které zlepšují užité vlastnosti svaru,
- dodat do svarového kovu přísady, které zajišťují desoxidaci, odplynění a příznivě ovlivňují metalurgické děje ve svarovém kovu,
- zlepšit formování svaru, smáčení svarových ploch a operativnost při svařování v polohách.

Přídavné materiály se rozdělují na svařovací tyčky, pro ruční svařování a svařovací dráty pro strojní metody. Mají vhodné chemické složení a kvalitní jakost povrchu.

Svářecí tyčky jsou dráty kruhového průřezu s dostatečnou tuhostí o průměrech 1 až 8 mm a délce 600 až 1000 mm. Při svařování se používají tyčky plného průřezu, nebo plněné legujícími, případně karbidickými přísadami pro navařování.

Svářecí dráty pro mechanizované metody svařování jsou dráty přesného kruhového průřezu navinuté rovnoměrně na cívkách. Svářecí dráty se dodávají od průměru 0,6 až 2,4 mm, pro navařování do 5mm. Dráty z mědi, hliníku a jejich slitin musí mít střední stupeň tvrdosti po deformačním zpevnění, které zajišťuje tuhost při mechanizovaném podávání do místa svaru.

Označování přídatných materiálů:

Domácí přídatné materiály fy. ESAB se označují dle těchto zásad

OK Tigrod XX.XX kde:

- první číslo- 1- znamená přídatné materiály pro mechanizovaný způsob svařování
druhé číslo- 2 –konstrukční oceli
3 – nízkolegované oceli
6 – vysokolegované nerezavějící oceli
8 – hliník
9 – jiné neželezné kovy (Cu,Ni....)

druhé dvojčíslí vyjadřuje pořadová čísla a podrobnější rozlišení u skupin 6 a 9.

Př. **OK Tigrod 16.30** je drát pro svařování WIG s nízkým obsahem uhlíku pro svařování austenitických ocelí typu 18Cr8Ni a 18Cr8Ni3Mo v ochranném plynu Ar.

GI XXX :

- a) základní značka GI - značí WIG inertní plyn
b) číselná značka formou trojčíslí, kde první číslice značí jakost skupiny materiálu a druhé dvě pořadové číslo.
Čísla jakosti materiálu jsou:
1 – nelegované oceli
2 – nízkolegované oceli
3 - nízkolegované žárupevné oceli
4 – vysokolegované oceli
5 – navařovací se zvláštními vlastnostmi
6 – neželezné kovy
7 – šedá litina
8 – zvláštní účely.

Pro nelegované a nízkolegované materiály je dnes zavedena norma **ČSN EN 1668**, kde příklad označení materiálu je následující:

PŘÍKLAD OZNAČENÍ PŘÍDAVNÉHO MATERIÁLU:

TYČ EN1668 – W 46 3 W3Si1

EN 1668 = číslo normy

W = tyč/ drát nebo navařený kov obloukovým svařováním wolframovou elektrodou v inertním plynu

46 = pevnost a tažnost dle příslušné tabulky (mez kluzu 460 MPa)

3 = nárazová práce (47 J při –30 °C)

W3Si1 = chemické složení dle příslušné tabulky.

Přídavné materiály se navrhují podle těchto zásad:

- a) chemické složení přídavných materiálů má být stejné nebo podobné jako základní materiál,
- b) pro dynamicky zatížené konstrukce z oceli je nutno volit přídavné materiály svarový kov s lepšími mechanickými vlastnostmi než základní materiál,
- c) pro svařování materiálů s citlivostí na horké trhliny je nutno použít přídavné materiály snižující tuto praskavost,
- d) na svařování materiálů s vysokou odolností proti korozi je třeba použít přídavné materiály stejného chemického složení a stejné čistoty jako základní materiál,
- e) pro svařování nerezavějících ocelí stabilizovaných titanem je nutno použít přídavné materiály stabilizované niobem z důvodu nižšího propalu při průchodu elektrickým obloukem.

7.8 TECHNIKA RUČNÍHO SVAŘOVÁNÍ.

Ruční svařování WIG je stále velmi používaná metoda především pro spojování vysokolegovaných ocelí a velké skupiny neželezných kovů. Má své nezastupitelné místo při svařování složitých prostorových konstrukcí, v kusové a maloseriové výrobě tam, kde potřebujeme svar s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou.

Technika ručního svařování charakterizuje polohu, pohyb hořáku a přídavného materiálu vzhledem ke svarové lázni. Technika svařování WIG připomíná svařování plamenem, kde místo tepla plamene se materiál taví teplem oblouku, ale pohyb hořáku a přídavného materiálu je klidnější. Při svařování je důležité, aby přídavný drát při svém pohybu zůstal v oblasti ochranné atmosféry a nebyl kontaminován vzduchem. Při kontaminaci hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce a zanesení oxidů do svarové lázně.

Metodou WIG se dá svařovat ve všech polohách a svařuje se zpravidla dopředu. Při svařování dopředu se hořák pohybuje vlevo (u praváků), tyčka přídavného materiálu se posunuje před hořákem a je postupně podávána na okraj tavné lázně. Povrch svaru je formován obloukem.

V základní poloze je poloha hořáku kolmá k příčné ose svaru, čímž se zajistí rovnoměrné natavení obou polovin svařovaného materiálu.

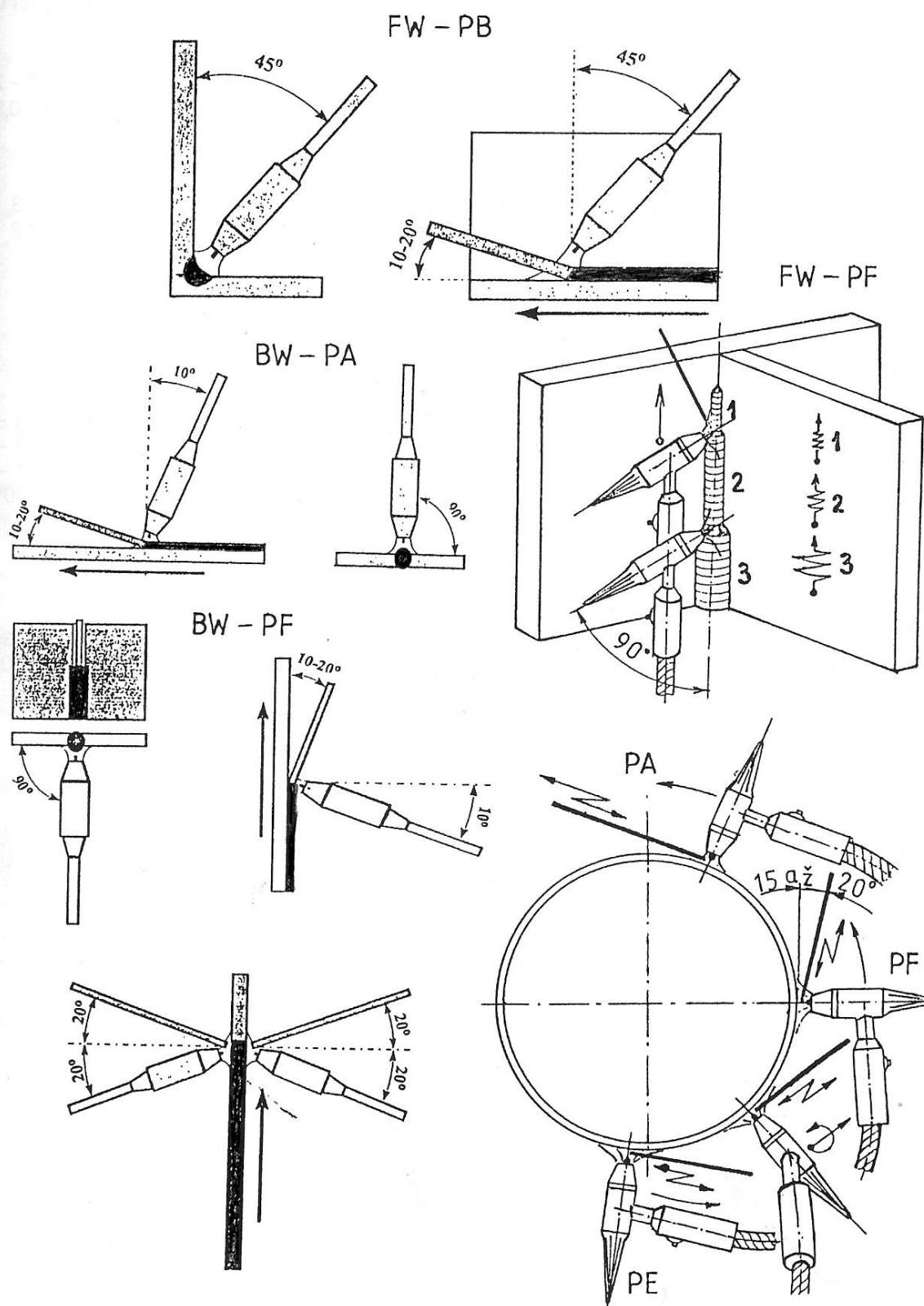
Sklon hořáku v podélné ose je cca 10° vzad a úhel sklonu tyčky 60 až 80° vpřed od kolmice v místě hoření oblouku.

Polohování hořáku i přídavného materiálu se mění dle typu svaru, polohy, směru svařování, složitosti a tvaru svařence, dostupnosti svaru atd.

Základní svařovací polohy, odpovídající sklon a orientace hořáku s přídavným materiálem

a jejich pohyb ve svarové spáře jsou zobrazeny na obr.7.7

Vysunutí elektrody z keramické plynové trysky je přibližně dvojnásobek průměru elektrody pro tupé svary a u koutových svarů se vysunutí elektrody zvětšuje o 3 až 5 mm.



Obr. 7.7 Základní svařovací polohy u svařování metodou WIG

Důležitým předpokladem úspěšného svařování je příprava svarových ploch, která se řídí především tloušťkou a druhem svařovaných materiálů. Kromě běžných tvarů úprav úkosů jako je lemový svar, I a V svar se často používají i při relativně malých tloušťkách U svary nebo jejich modifikace

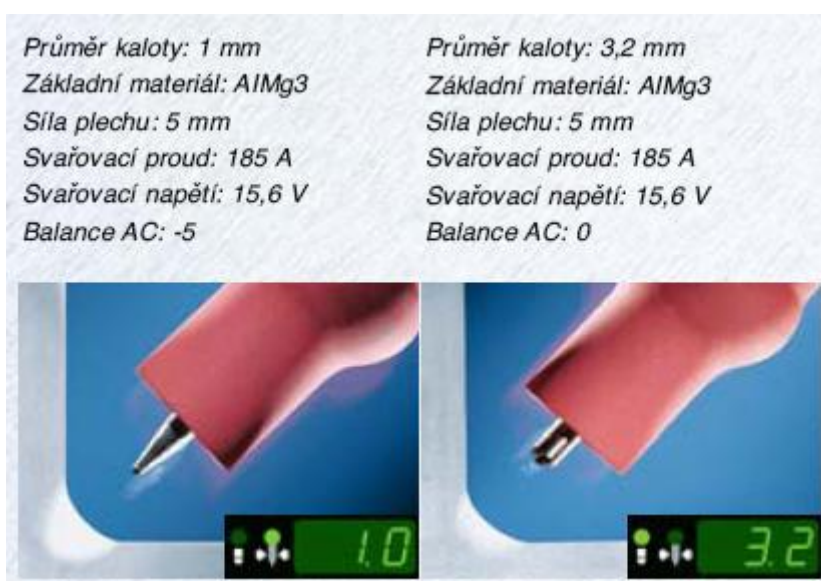
Tab.7.5 Doporučení pro svařování kovových materiálů

Svařovaný kov nebo slitina	Proud		Doporučený typ elektrody
	Stejnoseměrný (DC)	Střídavý (AC)	
Hliník - tloušťka do 2,5 mm	-	+	WP, WZ 8
Hliník a jeho slitiny - tloušťka nad 2,5 mm	-	+	
Hořčík a jeho slitiny	-	+	
Uhlíkové a nízkolegované oceli	+	-	WT 10, WL 10,
Vysokolegované oceli	+	-	WT 20, WC 20
Měď	+	-	WLYC 10
Bronz	+	-	
Hliníková bronz	-	+	WP, WZ 8
Křemíková bronz	+	-	WT 10, WL 10,
Nikl a jeho slitiny	+	-	WT 20, WC 20
Titan	+	-	WLYC 10

7.9 Zásady pro ruční svařování hliníku a jeho slitin.

- Používá se střídavý proud o frekvenci 40 až 250 Hz a inertní plyn Ar nebo Ar + 25 – 75% He, nebo stejnosměrný proud s He + 10% Ar.
- Do tloušťky 5 mm se tupé svary svařují bez úkosu a bez mezery, doporučuje se však zkosit spodní hranu svaru cca 0,5 až 1 mm
- Větší tloušťky se upravují do „V“ úkosu a úhlem rozevření 80 – 90° otupením 2mm .
- Hodnota proudu se volí cca 40 až 60 A na 1mm tloušťky materiálu.
- Průměr přídatného drátu se u tenkých plechů rovná tloušťce svařovaného materiálu.
- Jako přídatný materiál se používá AlMg5 vhodný proti vzniku trhlin za tepla.
- Pro AlSi slitiny je vhodný AlSi3 až 5.
- Stehování se provádí střídavě od středu svaru po cca 100 mm. Šířka stehu nesmí překročit šířku budoucího svaru.
- Délka oblouku 3 – 5 mm.
- Pro svařování hliníku se používá svařování doleva.

- Doporučuje se předehřev 200 až 300 °C dle složitosti a tloušťky svařence.
- Při začátku svařování přidat přídatný materiál až po prosednutí svarové lázně, které detekuje protavení kořene.
- Při ukončování svaru použít funkci poklesu proudu a doplnit koncový kráter.
- Pro čištění povrchu použít kartáčování, broušení nebo moření v NaOH pro odstranění oxidu hlinitého.
- Identifikace slévarenských slitin dle barvy oblouku: bílý oblouk – AlSi
nazelenalý oblouk - AlMg
- Identifikace slitin hliníku kapkovou metodou pomocí 20% NaOH (5 min)
 - bílá skvrna AlMg
 - černá odstranitelná skvrna AlCuMg
 - tmavě hnědá neodstranitelná skvrna AlSi



Obr.7.8 [Vytvoření kaloty](#) pro svařování hliníků střídavým proudem

7.10 Zásady pro ruční svařování vysokolegovaných ocelí.

- Používá se stejnosměrný proud s konstantním nebo impulsním průběhem. Elektroda je na záporném pólu zdroje.
- Plynová ochrana je zajištěna Ar, Ar + He, nebo Ar + H₂, pro austenitické oceli. Heliem i vodíkem se zvyšuje přenos tepla do svaru a tím i hloubka závaru a rychlost svařování.
- Do tl. 2 mm se tupé svary svařují bez styčné spáry, do tl. 4mm se styčnou spárou cca 1mm a nad 4 mm se upravuje hrana do úkosu „V“ s rozevřením 60 – 70° s otupením 2 mm.
- Hodnota svařovacího proudu se volí od 30 do 50 A na 1mm tl. materiálu.
- Délka oblouku by měla odpovídat průměru elektrody.
- Svařovat s minimálním možným tepelným příkonem do svaru.
- U vícevrstvých svarů dodržovat teplotu interpass max. 100 °C a používat úzké housenky.

- Používat niobem stabilizované přídavné materiály o rozměrech menších než tl. materiálu. Doporučené množství niobu je desetinásobek množství uhlíku.
- Pro větší tloušťky svařovaných materiálů použít přídavný materiál který dává svarový kov s malým obsahem delta feritu.
- Vlivem špatné tepelné vodivosti je nutno stehovat v malých vzdálenostech cca 40mm od středu svaru. I pro svařování stehů je nutno použít formovacího plynu pro ochranu kořene.
- Pro tenké plechy používat upínací přípravky a měděné podložky pro snížení deformace.

7.11 Zásady pro ruční svařování mědi a jejích slitin.

- Z důvodu velmi vysoké tepelné vodivosti aplikovat spoje s nejnižším odvodem tepla (tupé svary) a dle potřeby izolovat povrch svařence tepelně izolačním materiálem.
- Svařovat měkkým obloukem dlouhým cca 5 až 10 mm s přímou polaritou elektrody.
- Při svařování čisté mědi možno svařovat jen desoxidovanou měď.
- Přídavný materiál volit nízkolegovaný cínový bronz s cca 1% cínu. Svařuje se delším obloukem a svar se nepřekovává.
Při použití čisté mědi nebo CuAg1 desoxidovaný fosforem, svar překovat při teplotě 800 až 850 °C a čistou měď svařovat jen na jednu vrstvu, jinak vznikají trhliny.
Doporučená ochranná atmosféra je Ar nebo lépe Ar + 50% He. Čistota plynů 4.5.
- Předehřev volit dle tloušťky materiálu: 2mm - 150 °C, 3mm - 200 °C, 5mm - 300 °C, 7mm - 350 °C, 8mm - 400 °C, 10 až 12mm - 500 až 600 °C. Zajistit dohřívání na požadovanou teplotu i během svařování.
- Svařovat stejnosměrným proudem s konstantním průběhem, tenké plechy do 1,5 mm impulsním proudem.
- Složitější svařence vyztužit ocelovým skeletem proti zborcení.
- Ruční svařování mosazi lze použít jen do obsahu zinku pod 20% a svařovat malým proudem a malým tepelným výkonem. Zinkové páry musí být intenzivně odsávány.
- Cínový, hliníkový a niklový bronz svařovat krátkým obloukem, malým proudem, minimálním vneseným teplem a malou rychlostí.
- Hliníkové, beriliové a částečně křemíkové bronzy se doporučuje svařovat střídavým proudem.
- Tenké plechy se svařují doleva, případně se svařovaný materiál nakloní o 15 - 20° od vodorovné polohy.

7.12 Zásady pro svařování titanu a jeho slitin.

- V místě spoje zabezpečit kovově čistý povrch bez oxidu titaničitého.
- Používat přídavné materiály stejného nebo podobného chemického složení jako svařovaný materiál s malým obsahem nečistot (C max. 0,05%, O₂ max. 0,01%, N₂ max. 0,02%).

- Chránit svarový kov včetně spodní strany svaru, přídavný materiál i tepelně ovlivněnou oblast ochranným plynem nad teplotou 400 °C. Při teplotě nad 400 °C dochází k oxidaci povrchu a přípustná je pouze kovově lesklá až slabě slámově žlutá barva. Mírná oxidace se projeví slámově žlutou barvou, střední oxidace bronzovou až hnědou a silná oxidace modrou barvou. Světle šedou barvou svaru se projevuje vytvoření práškového oxidu na povrchu. Nad uvedenou teplotou dochází také k silné difúzi kyslíku a vzniku trhlin ve svaru.
- Přednostně používat svary které můžeme vyrobit bez přídavného materiálu.
- Použít plyn o vysoké čistotě min. 4.8.
- Svařovat stejnosměrným proudem s přímou polaritou.

7.13 Zásady pro svařování niklu a jeho slitin.

- Svarový úkos a svařovací tyčinky musí být čisté a zdrsňelé.
- Tlustší plechy se svařují V úkosem 75°, otupení 0,8 – 1 mm, svarová spára 0,4 – 1mm.
- Svařuje se stejnosměrným proudem s přímou polaritou, krátkým obloukem a vysokou rychlostí (nebezpečí naplynění).
- Nutná ochrana kořene.
- Nedoporučuje se předeřev.
- Přídavné materiály stejné nebo podobné jako základní materiál a rozdělujeme je do 5 skupin: 1) čistý Ni, 2) Ni-Cu, 3) Ni-Cr-Fe, 4) Ni-Mo a 5) Ni-Cr-Mo.

7.14 Svařování těžkotavitelných kovů

Do skupiny těžkotavitelných kovů můžeme zařadit tyto kovy s vysokou teplotou tavení: tantal – 2996 °C, molybden – 2620 °C, wolfram – 3390 °C, zirkon – 1852 °C, niob – 2468 °C, hafnium - 2230 °C.

Na svařování těžkotavitelných kovů se používá stejnosměrný proud s přímou polaritou. Vzhledem k vysoké citlivosti kovů na oxidaci je nutné zajistit dokonalou ochranu kořene svaru. Jako ochranný plyn se používá argon s čistotou min. 4.6, ale výhodnější je směs argonu s heliem, která přenáší větší množství tepla do svarové lázně.

7.15 STROJNÍ SVAŘOVÁNÍ WIG.

Ve srovnání s ručním svařováním se mechanizované a robotizované svařování WIG vyznačuje lepší ekonomičností a kvalitou svarů.

Cílem strojního svařování je :

- zvýšení kvality a užitných vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku – kolísání délky oblouku, nepřesnosti vedení hořáku ve svarovém úkosu, kolísání rychlosti svařování, nedostatky plynové ochrany atd.,
- zlepšení hospodárnosti procesu úsporou plynu a přídavných materiálů,
- snížit podíl lidské práce při nedostatku kvalifikovaných svářečů,

- zlepšit produktivitu svařování zvýšením rychlosti a využitím vysokovýkonných variant svařování (např. metoda horkého drátu nebo vícehořákové svařování),
- rozšířit okruh aplikací o svařování těžkosvařitelných kovů.

Uvedené cíle lze dosáhnout vlastní charakteristikou svařování WIG a pomocí způsobů zabezpečení kvality svarových spojů, které lze rozdělit do těchto skupin:

- 1) Stabilizace vstupních parametrů svařování kam patří příprava a opracování polotovárů s předepsanou geometrií úkosů, minimálními tolerancemi, předepsaným stavem povrchu a definovaným upnutím.
- 2) Stabilizace rozhodujících svařovacích parametrů např. svařovacího proudu a napětí, rychlosti svařování, délky svařovacího oblouku a polohy hořáku.
Typickým příkladem je proudový stabilizátor moderních zdrojů, který zajišťuje max. kolísání 0,5 % i při 10% kolísání síťového napětí. Dalšími prostředky jsou rychlostní stabilizátory, polohové stabilizátory polohovadel a snímače polohy svařence k poloze hořáku. Typů snímačů polohy je celá řada a při svařování WIG se používají tyto:
dotykové tenzometrické snímače jedno nebo dvousouřadnicové, kapacitní, indukční, obloukové, optické, laserové a elektrodotové kontaktní. V poslední době se pro mechanizované způsoby svařování WIG rozšiřuje využití optických a laserových polohových snímačů vybavené CCD kamerou. Největší podíl doposud mají obloukové snímače založené na vyhodnocování změn svařovacích parametrů na oblouku.
- 3) Programové ovládání svařovacích parametrů umožňuje řídit celý svařovací proces z hlediska nastavení a změn svařovacích veličin – proudu, napětí, rychlosti, průtoku ochranného plynu atd. a také pohybové operace robota, polohovadla nebo mechanizace vedení hořáku (rozkvy hořáku, vzdálenost hořáku atd.).

4) Řízení se zpětnou vazbou

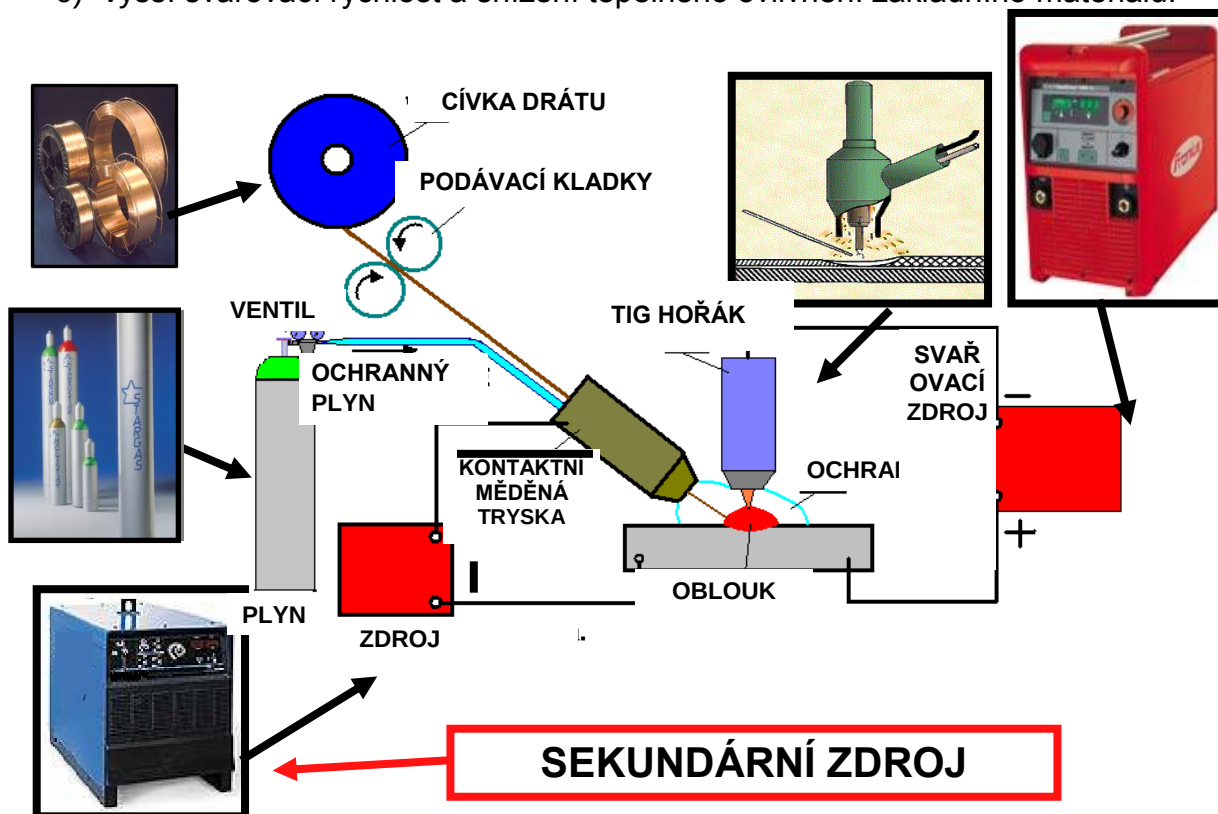
Programové řízení je v současnosti realizováno elektronickou cestou s využitím zpětné vazby. Např. systém se CCD kamerou s využitím laseru snímá tvar svarové lázně a porovnává ho s požadovaným tvarem spolu s vyhodnocením a korekcí odchylek. Zpětná vazba umožňuje zabezpečit konstantní geometrii svarové housenky i při měnících se parametrech svařování např. různé tloušťce materiálu, změně tvaru úkosu aj. Jiný způsob automatického řízení se zpětnou vazbou využívá bezdotykové měření teploty svarové housenky těsně za obloukem, nebo ze stany kořene svaru.

Strojní svařování se používá pro mechanizované způsoby svařování rovinných svarů svařenců z vysokolegovaných ocelí i hliníku do tloušťek cca 5 mm.

Klasické svařování WIG má však ve srovnání s jinými metodami nižší produktivitu a proto se ve vhodných aplikacích doporučuje využít výkonnější modifikace:

- a) Svařování zúženým obloukem při kterém se zvyšuje stabilita oblouku a jeho zúžení menším průměrem plynové trysky kde vnitřní $d = \text{průměr elektrody} + 2 \text{ až } 4 \text{ mm}$. Používá se pro svařování tupých svarů do tl. 5 mm bez mezery i pro měď, hliník a jejich slitiny.
- b) Tandemové svařování WIG – WIG a WIG – MIG, kde přední hořák (jeden nebo dva) slouží k předehřevu a zadní pro svařování. Tato varianta se používá pro oceli vyžadující předehřev a pro svařování mědi až do tl. 10 mm.

- c) Svařování MULTIWIG (multikatoda) je dvou až čtyřobloukové svařování kde vzdálenost elektrod je tak malá, že se vytváří pouze jedna dlouhá svarová lázeň. Multikatodové svařování umožňuje svařovat rychlostí do 10 m.min^{-1} a využívá se pro podélné spoje při výrobě tenkých trubek.
- d) Oboustranné svařování zkracuje dobu svařování spoje a eliminuje úhlové deformace svaru.
- e) Využití vysokého obsahu vodíku ve směsi s argonem. Běžně se používá do 15%, ale je známo použití až 35% vodíku. Zvyšuje se průvar, rychlost svařování i životnost elektrody.
- f) Svařování horkým drátem – obr. 7.9. Při tomto způsobu je přiváděný drát předeheříván odporovým teplem při průchodu proudu napájeného zvláštním zdrojem. Drát je přiváděn do tavné lázně při teplotě blízké se teplotě tavení. Tato metoda má následující výhody použití:
- 1) až 4- krát vyšší výkon navaření,
 - 2) nižší nebezpečí pórovitosti svaru,
 - 3) menší riziko studených spojů,
 - 4) lepší přenos legujících prvků do svaru poněvadž tavící se drát neprochází obloukem,
 - 5) minimální ochlazení tavné lázně přiváděným přídavným materiálem,
 - 6) vyšší svařovací rychlost a snížení tepelného ovlivnění základního materiálu.



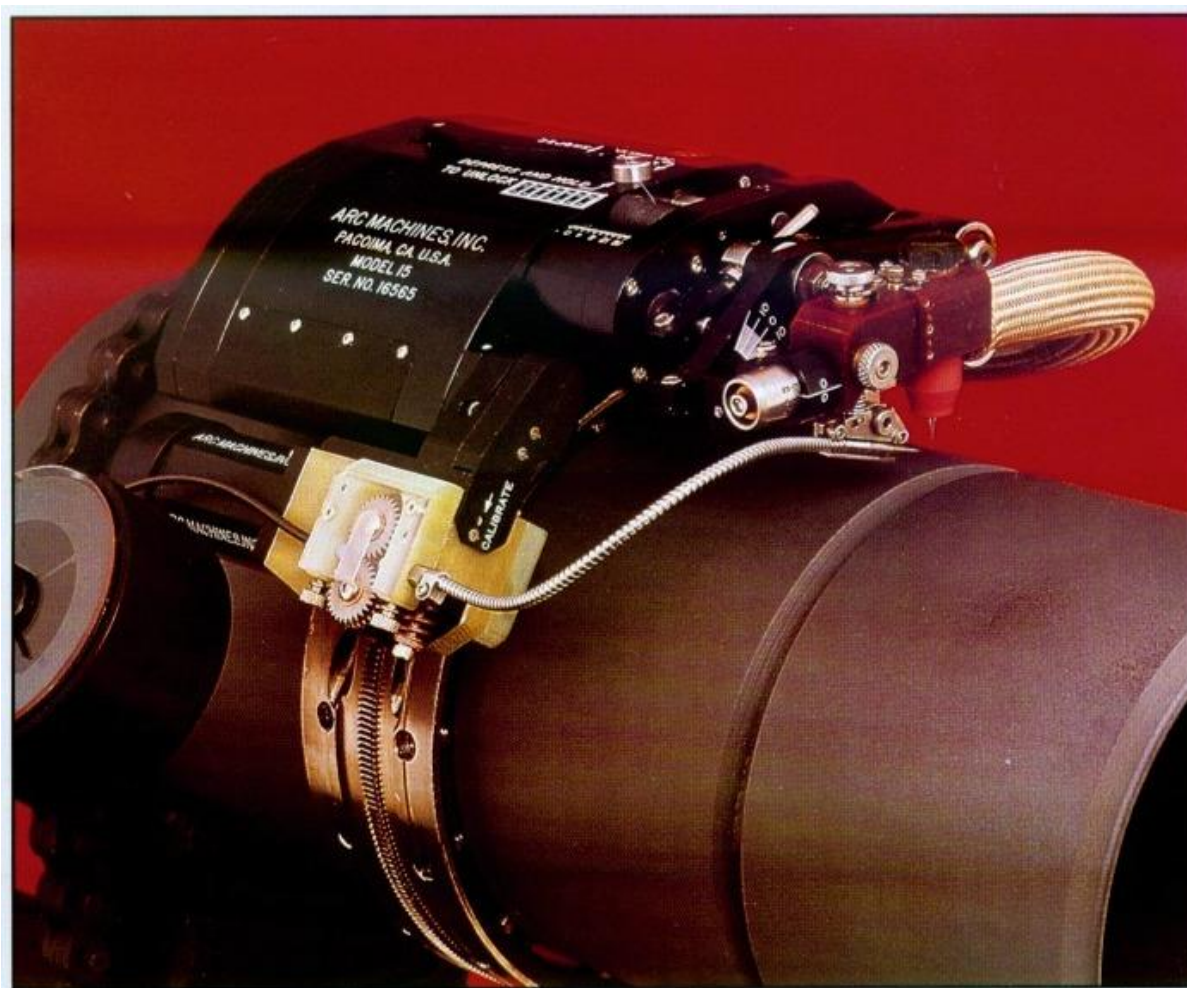
Obr.7.9 Uspořádání při svařování horkým drátem

Významné zastoupení má strojní svařování WIG také v oblasti svařování trubek a kombinace [trubka – trubkovnice](#) při výrobě tepelných výměníků, kde kromě ručního svařování se používá tzv. orbitálního způsobu svařování WIG.

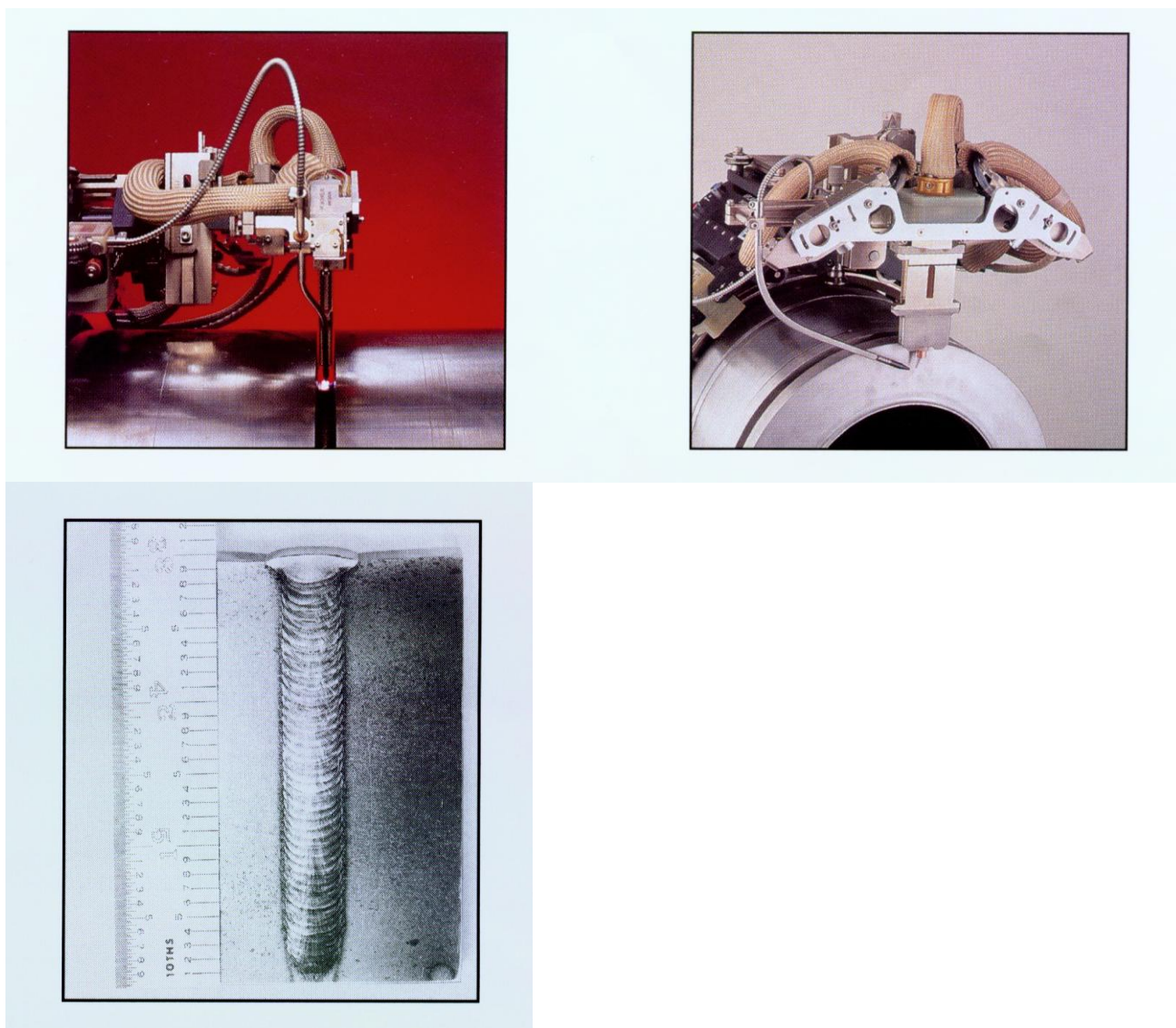
Při orbitálním svařování trubek velkých průměrů (od cca 200mm) je svařovací hlava obr. 7.10 navěšena na vodící desku nebo tvarovanou vodící dráhu a vykonává kruhový pohyb o cca 370° tak, aby bylo zajištěno překrytí začátku svaru. Svařovací hlava se skládá z vlastního hořáku, podavače drátu a pohybového ústrojí, které zajišťuje kruhový pohyb hlavy a oscilační pohyb hořáku ve svarovém úkosu. Větší tloušťky trubek se svařují do úzkého úkosu upravenou svařovací hubicí zobrazenou na obr. 7.11.

Menší průměry trubek (10 až 220 mm) se svařují hlavou navěšenou na tzv. [upínací kleště](#) jejichž účelem je pevné a rychlé upnutí na vnějším průměru trubky. Funkce svařovací hlavy jsou stejné jako v předešlém případě. Dnešní moderní zařízení svařují pulsním proudem s pulsováním podávaného drátu a regulací parametrů svařování v závislosti na poloze hořáku na trubce. Při oscilaci (kývání) hořáku ve svarovém úkosu je možné regulovat parametry svařování (zvýšení proudu) v místech přiblížení elektrody ke stěně úkosu. Malé průměry se svařují s [uzavřenou hlavou](#) naplněnou ochranným plynem.

Nejmodernější zařízení mají vizuální sledování oblouku a procesu svařování pomocí CCD kamer s možností archivace na CD – ROM. [Orbitální](#) mechanizované svařování se používá především při výrobě součástí jaderných a tepelných elektráren, kotlů, chemických, petrochemických a potravinářských zařízení.



Obr.7.10 Svařovací zařízení pro orbitální svařování velkých průměrů trubek.



Obr.7.11 Svařovací hlava pro svařování do úzkého úkosu a řez svarem.

Orbitální svařování kombinace trubka – trubkovnice je velmi podobné jako předešlá metoda jen svařovací hlava je navěšena na středící a upínací trn, který je zasunutý do svařované trubky, nebo několika sousedících trubek při malých průměrech.

Svařování probíhá s bez přídavného materiálu pouze natavením upravené trubky a trubkovnice, nebo je drát podáván pomocí bovdenu do oblouku. Plynová ochrana je zajištěna přívodem keramickou hubicí, ale některá speciální zařízení mají zvonovitý kryt celého místa svařování včetně okolí. Tato varianta je užita například pro svařování titanových výměníků pro jaderné elektrárny.

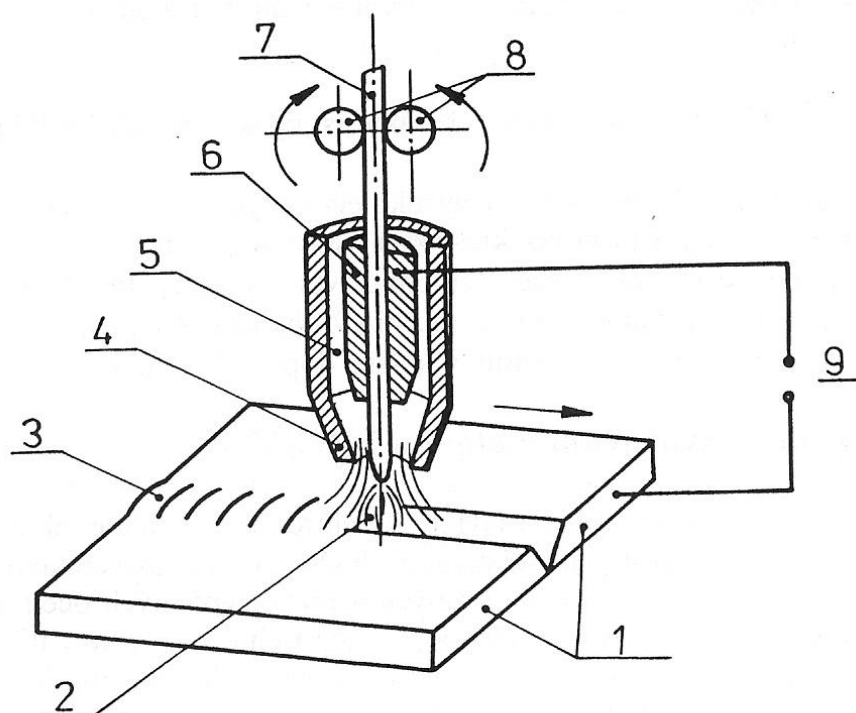
8. PRINCIP SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří vedle svařování obalenou elektrodou v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG v inertním plynu získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody a charakteristiky uvedené metody svařování.

Svařování metodou MIG/MAG je založeno na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku, nebo kombinací obou systémů z cívky o běžné hmotnosti 15 kg. Proudová hustota je u svařování MAG nejvyšší ze všech obloukových metod a dosahuje až $600 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ a svařovací proudy se pohybují od 30 A u svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6 – 0,8 mm, až do 800 A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C.

Díky vysokým proudům se svařovací rychlosti blíží hranici $150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlost kapek přenášených obloukem přesahuje $130 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu, ovlivňuje však také přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku.



1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. plynová hubice
5. ochranný plyn
6. kontaktní průvlek
7. přídavný drát
8. podávací kladky
9. zdroj proudu

Obr. 8.1 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG.

Nejširší uplatnění je v současnosti při ručním a mechanizovaném svařování nelegovaných, nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí, při použití směsného plynu argonu s oxidem uhličitým.

Tato metoda svařování se vyznačuje těmito výhodami:

- svařování ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm,
- minimální tvorba strusky,
- přímá vizuální kontrola oblouku a svarové lázně,
- vysoká efektivita, úspory nedopalků tzv. nekonečným drátem,
- snadný start oblouku bez nárazu svařovacího drátu do svařence,
- velmi dobrý profil svaru a hluboký závar,
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování,
- vysoká proudová hustota,

- vysoký výkon odtavení,
- široký proudový rozsah pro jeden průměr drátu,
- stabilní plynová ochrana v různých variantách umožňující diferencované typy přenosu kovu v oblouku a ovlivnění mechanických vlastností svarů,
- nízká pórovitost,
- malý nebo žádný rozstřík kovu elektrody,
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů svařování.

8.1 OCHRANNÉ PLYNY

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků.

Ochranné plyny mají také významný vliv na: typ přenosu kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování a další parametry svařování.

Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku,
- metalurgické děje v době tvoření kapky, při přenosu kapky obloukem a ve svarové lázni,
- síly působící v oblouku,
- tvar a rozměry oblouku,
- charakter přenosu kovu v oblouku, tvar a rozměry kapek a rychlost jejich přenášení obloukem,
- tvar a rozměry průřezu svaru,
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál,
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje.

V současnosti se na ochranu oblouku používají jednosložkové nebo vícesložkové plyny. Podle charakteru se ochranné plyny projevují neutrálním, oxidačním nebo nahličujícím vlivem na svarovou lázeň. Při volbě ochranného plynu spolurozhodují technické a ekonomické ukazatele. V minulosti se používaly jednosložkové plyny především ekonomicky výhodný CO_2 , ale v současnosti jsou velmi rozšířené směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem. V tabulce 8.1 jsou ochranné plyny rozděleny podle chemického účinku na svarový kov na několik skupin inertní, redukční, oxidační a nereagující. Uvedená tabulka je citovaná část normy technických plynů ČSN EN 439, výňatek z tabulky 2.

Chemické účinky ochranných plynů.

Inertní plyny skupiny „I“ argon, helium a jejich směsi chemicky nereagují se svarovou lázní a propal prvků ve svarovém kovu je minimální, nemají proto vliv na výsledné chemické složení svarového kovu. Inertní, případně nereagující plyny používáme pro

svařování metodou WIG všech svařitelných materiálů a metodu MIG pro slitiny hliníku, mědi, niklu aj.

Aktivní plyny skupiny „M1, M2, M3 a C“ ovlivňují v menší nebo větší míře chemické složení svarového kovu.

Podle propalu C, Mn a Si je obsah 1% O₂ ve směsi s argonem, srovnatelný s 10% CO₂ ve směsi s argonem a podle obsahu kyslíku ve svarovém kovu až s 20% CO₂ ve směsi s argonem .

Tab.8.1 Rozdělení plynů dle chemického charakteru – norma ČSN EN 439.

ČSN EN 439 (Výňatek z tabulky 2)									
Označení		Prvky v procentuálním objemu						Typické použití	Poznámka
Skupina	Identifikační číslo	Oxidační		Inertní		Redukční	Nereagující		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1 2			zbytek zbytek		0 až 15 0 až 35		WIG, PAW (C) Ochrana Kořene	Redukční
I	1 2 3			100 zbytek	100 0 až 96			MIG WIG PAW	Inertní
M 1	1 2 3 4	0 až 5 0 až 5 0 až 5	0 až 3 0 až 3	zbytek zbytek zbytek	0 až 5			MAG	Mírně oxidační
M 2	1 2 3 4	0 až 25 0 až 5 0 až 25	3 až 10 3 až 10 0 až 8	zbytek zbytek zbytek					Silně oxidační
M 3	1 2 3	25 až 50 5 až 50	10 až 15 8 až 15	zbytek zbytek zbytek					
C	1 2	100 zbytek	0 až 30						
F	1 2					0 až 50	100 zbytek	PAC Ochr. kořene	Nereag. Redukční

PAW- svařování plazmou, PAC – řezání plazmou.

Ochranné plyny se rozdělují podle indexu oxidačního účinku do řady 0 – 10 a vlivu na nauhličení.

Z poměrně širokého sortimentu nabízených směsných plynů je ve skupině „M1“ směs

Ar + 1 – 2 %O₂ , která se používá pro svařování vysokolegovaných austenitických ocelí.

Tato směs má nejmenší index oxidačního účinku 1 resp.2 a nemá nauhličující charakter.

Bez nauhličujícího účinku se zvýšeným oxidačním účinkem (index 3 – 5) se pro svařování feritických ocelí používá směs Ar + 3 až 5 % O₂.

Ve skupině směsných plynů „M2“ jsou nepoužívanější plyny pro MAG svařování.

Často používaná dvojsložková směs plynů typ Ar + 20 % CO₂, má oxidační účinek podobný jako u směsi Ar + O₂ (index 2). Argon s oxidem uhličitým má však nauhličující účinek. Používá se pro uhlíkové a nízkolegované oceli.

Trojsložková směs na svařování tenkých plechů je Ar + 5% O₂ + 15% CO₂ a má výrazný oxidační účinek – index 6,5.

Nejvyšší oxidační účinek (index 10) má čistý CO₂ označený skupinou „C“. Má i výrazný nauhličující účinek a jeho využití má klesající tendenci.

V ochranném plynu CO₂ probíhají chemické reakce v širokém rozmezí podmínek svařování tak, že rovnovážný stav uhlíku ve svarovém kovu se ustálí v rozmezí 0,10 – 0,15 % bez ohledu na to jaký obsah uhlíku je ve svařovacím drátu. To znamená, při určitých podmínkách dochází k propalu uhlíku a při použití nízkouhlíkových drátů dojde k nauhličení svarového kovu.

Při svařování vysokolegovaných Cr-Ni ocelí v CO₂ by docházelo k nežádoucímu nauhličení a poklesu odolnosti proti mezikrystalické korozi. Z těchto důvodů se používá směs Ar + 1%O₂, kde nauhličení nenastává a obsah uhlíku se nemění nebo vykazuje propal cca 30%.

Následující tabulka 8.2 ukazuje jak složení plynu ovlivňuje chemické složení vysokolegované chromniklové oceli.

Tab. 8.2 Vliv ochranných plynů na složení svarového kovu vysokolegované chromniklové oceli typu 18/8.

Chemické složení %							
Chemický prvek	C	Si	Mn	Ni	Cr	Nb	Nb/C
Svařovací drát	0,06	0,62	0,7	8,3	18,6	0,83	13,8
Složení ochrann.plynu		Chemické složení svarového kovu					
CO ₂	0,13	0,46	0,51	8,3	18,3	0,63	4,8
Ar + 1%O ₂	0,06	0,6	0,65	8,3	18,6	0,79	13,2
Ar +15%CO ₂ +5O ₂	0,08	0,57	0,6	8,3	18,5	0,83	10,2
Ar + 20%CO ₂	0,1	0,56	0,62	8,3	18,5	0,79	7,9

Poměr Nb/C je kritérium mezikrystalické koroze.

8.2 ZAŘÍZENÍ PRO SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

V současnosti je vyráběný velmi široký sortiment zařízení pro svařování metodou MIG/MAG.

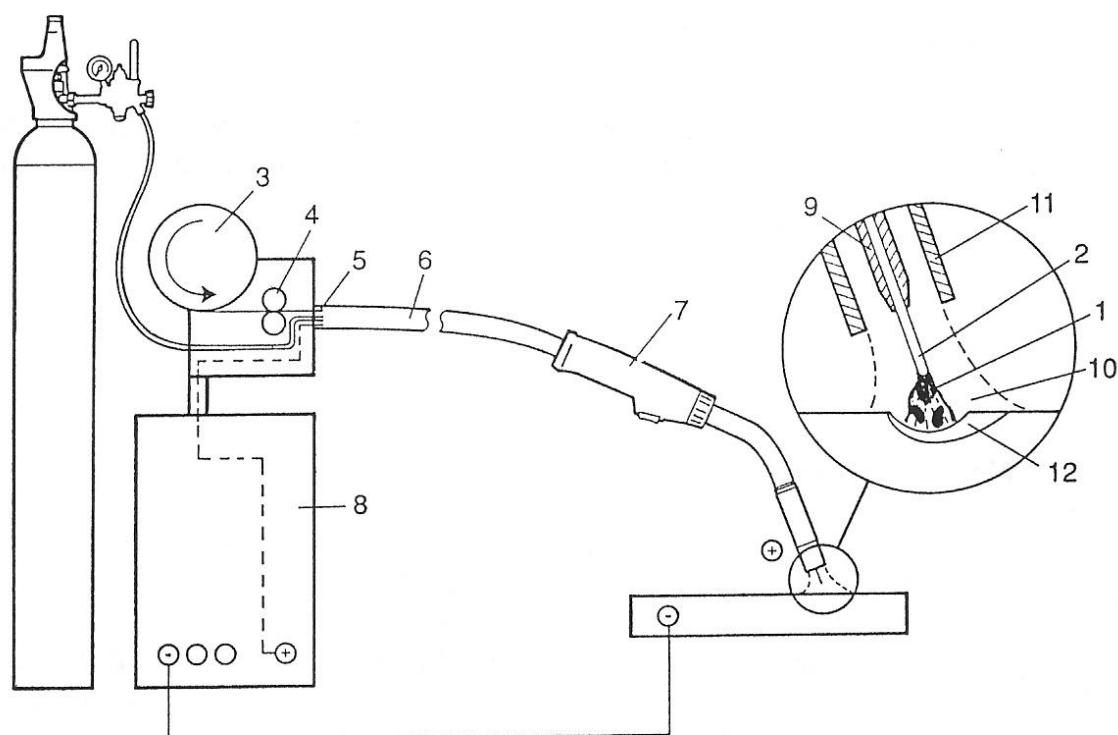
Svařovací zařízení mohou být monofunkční pouze pro MIG/MAG svařování, nebo multifunkční a zahrnovat i metody svařování WIG a ruční svařování obalenou elektrodou.

Základní nutné vybavení pro svařování metodou MIG/MAG obr. 8.2 zahrnuje tyto jednotlivé komponenty:

- zdroj svařovacího proudu s řídící jednotkou,
- podavač drátové elektrody,
- svařovací hořák,
- multifunkční kabel hořáku s rychlospojkou,
- uzemňovací kabel se svorkou,
- zásobník ochranného plynu s redukčním ventilem.

V závislosti na výkonu, složitosti, náročnosti a požadavcích výroby mohou být dnešní výkonné moderní zařízení vybaveny těmito dalšími technickými doplňky:

- chladicí jednotka pro chlazení hořáku a svařovacího kabelu,
- mezipodavač drátové elektrody pro svařování na velké vzdálenosti,
- dálkové ovládání svařovacích parametrů (ruční měnič),
- řídící jednotkou vybavenou procesorem pro regulaci a kontrolu parametrů svařování v reálném čase, archivaci dat v paměťovém bloku a databázi programů svařovacích cyklů,
- pojízdný vozík
- rameno pro nesení hořáku a kabelu



Obr. 8.2 Základní schéma svařování metodou MIG/MAG

1 – elektrický oblouk, 2 – drátová elektroda, 3 – zásobník drátu, 4 – podávací kladky, 5 – rychloupínací spojka, 6 – hořákový kabel, 7 – svařovací hořák, 8 – zdroj svařovacího proudu, 9 – kontaktní svařovací průvlak, 10 – ochranný plyn, 11 – plynová tryska, 12 – svarová lázeň.

Zdroje pro svařování metodou MIG/MAG

Pro svařování metodou MIG/MAG se používá zdrojů se stejnosměrným výstupem proudu, kde kladný pól zdroje je připojen na drátovou elektrodu.

Používají se usměrňovače a v dnešní době převážně invertory různých výkonových vlastností. Zdroje pro svařování MIG/MAG mají plochou statickou charakteristiku s tzv. konstantním napětím se samoregulační schopností udržování konstantní délky oblouku. Tato regulace je založena na výrazné změně proudu při relativně malé změně délky oblouku a tím i napětí na oblouku. Tento princip regulace délky oblouku je možný jen při konstantní rychlosti podávání drátu. Při změně délky oblouku se změní napětí a dle pohybu pracovního bodu na statické charakteristice se mění proud. Při dlouhém oblouku se sníží proud i rychlost odtavování elektrody a při konstantní rychlosti podávání drátu se začne drát přibližovat ke svarové lázni a oblouk se tím zkrátí. Naopak při krátkém oblouku a poklesu napětí se zvyšuje intenzita proudu a odtavování je rychlejší. Délka oblouku se tím zvětší a u reálného procesu svařování osciluje kolem nastavené „rovnovážné“ hodnoty.



Obr. 8.3 Moderní zdroje pro MIG/MAG svařování

Rozdělení jednotlivých typů zdrojů:

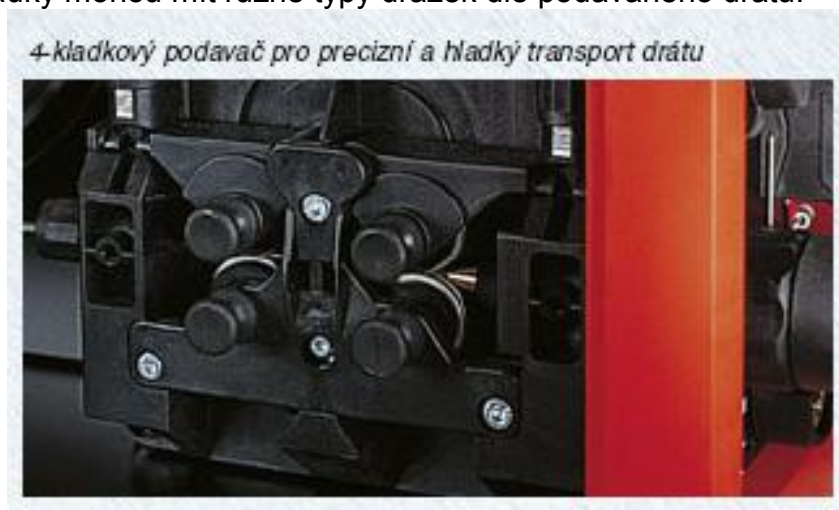
1. Kompaktní zdroje s integrovaným podavačem drátu umístěným ve společné skříni se zdrojem. Toto uspořádání je obvyklé pro zdroje s nízkým až středním výkonem (do cca 250 – 300 A) při chlazení hořáku proudícím plynem.
2. Výkonné zdroje s chladicí jednotkou ve společné skříni se zdrojem a odděleným podavačem. Výkonově se pohybují kolem 500 A.
3. Stavebnicové uspořádání s odděleným podavačem drátu, kde jednotlivé komponenty jsou sestaveny s ohledem na snadnou přístupnost a případnou výměnu. Sestava se skládá ze zdroje proudu dnes většinou invertorového typu, podavače drátu a chladicí jednotky u výkonnějších zdrojů. U některých typů zařízení je ještě oddělený řídicí systém (u většiny zařízení bývá součástí podavače), nebo filtrační jednotka s mechanickým filtrem. Celá sestava je zpravidla nesena pojízdným vozíkem s konzolou pro plynové láhve. Podavač je se zdrojem propojen spojovacím kabelem v délkách 1,5/6/10 m a je umístěný přímo na zdroji obr. 9.3. Délky kabelů k ručnímu hořáku jsou obvykle v rozmezí 3 až 5m.

Při požadavku větší délky 6 až 10m, nebo při použití drátů nižších tvrdostí (Al a ocel 0,8

a 1mm speciálně v uzavřených prostorech a stavbě vozidel) lze použít uspořádání na

Podavače drátu

Při svařování MIG/MAG je přídavným materiálem drát, který je nepřetržitě podáván do hořáku pomocí podavače. Jeho umístění je popsáno výše. Podavač drátu zaručuje rovnoměrné podávání drátu bez jeho deformace a poškození povrchu. Tato funkce je zajištěna podávacím mechanismem s pohonem drátu jednokladkovým, dvoukladkovým, čtyřkladkovým nebo s mimoběžnými osami. Podávací kladky mohou mít různé typy drážek dle podávaného drátu.



8.3 SVAŘOVACÍ HOŘÁKY

Svařovací hořáky pro svařování MIG/MAG zajišťují přívod drátu do místa svařování, jeho napájení elektrickým proudem a laminární proudění ochranného plynu kolem přídavného drátu. Pro nízké příkony jsou hořáky chlazené procházejícím ochranným

plynem a u vyšších výkonů se používá nucené chlazení proudící kapalinou (destilovanou vodou) v uzavřeném chladícím okruhu.

V zásadě se hořáky rozdělují na strojní s válcovou upínací částí a ruční s rukojetí pro pevné vedení hořáku svařečem.

Všechny hořáky jsou vybaveny tvarovou trubicí na jejíž konci je umístěn kontaktní průvlak pro napájení drátu proudem, vyústění trubky pro přívod ochranného plynu a plynová tryska.

Kontaktní proudový průvlak je spotřební výměnná část hořáku, jehož funkcí je rovnoměrné napájení drátové elektrody svařovacím proudem. Z důvodu dobré elektrické vodivosti je vyroben ze slitiny mědi kde pro zvýšení odolnosti proti opotřebení je slitina legována chromem.

Otvor pro vedení drátu je u nové špičky větší o 0,2 mm než průměr drátu. Příliš velké opotřebení bývá příčinou v nepravidelnostech při napájení proudem a vychylování vedení drátu ve svarovém úkosu, které je nepřípustné u mechanizovaných a robotizovaných systémů svařování.

Plynová tryska usměřňuje proudění plynu kolem oblouku a svarového kovu. Do určité vzdálenosti musí zajistit laminární proudění i při rozstřiku kapek roztaveného kovu. Z důvodu zamezení ulpívání kapek se vyrábí z galvanicky pochromované mědi.

Spouštění svařovacího proudu se ovládá spínačem na rukojeti a řada moderních zdrojů má na rukojeti umístěno také plynulé ovládání intenzity svařovacího proudu pomocí potenciometru nebo tlačítkem.



Obr. 8.4 Ovládací prvky na hořáku

Řízení průběhu svařování spínačem na hořáku

Řídicí jednotka průběhu svařování je zabudována ve zdroji a je ovládána spínačem na svařovacím hořáku. Při svařování se používají tyto způsoby řízení :

- **Dvoutaktní režim**, kdy po stisku spínače se pustí ochranný plyn pro jeho nezbytný předfuk a po přibližně dvou vteřinách se zapne posuv drátu a svařovací proud. Svařování probíhá po dobu zapnutí spínače.

Po uvolnění se vypíná posuv, proud a po chvíli i dofuk plynu. Dvoutaktní režim je vhodný pro stehování, krátké svary a automatický režim na mechanizovaných nebo robotizovaných systémech.

- **Čtyřtaktní režim** naopak vhodný pro dlouhé svary a pro programové ovládání proudu u moderních zdrojů. Prvním stiskem spínače se spustí ochranný plyn a po uvolnění (druhý takt) se zapne posuv drátu a s malým zpožděním proud. Svařování probíhá bez nutnosti sepnutí spínače do okamžiku sepnutí (třetí takt) kdy se vypíná posuv drátu a proud. Uvolněním spínače (čtvrtý takt) se vypíná přívod ochranného plynu, který se po nastaveném dofuku zastaví.
- **Speciální čtyřtaktní režim** využívá současného řízení zdrojů a umožňuje po stisknutí a podržení spínače využít princip tzv. horkého startu. Po uvolnění proud klesá na nastavenou svařovací hodnotu. Dalším stiskem a držením je vyvolán opětovný pokles proudu na druhou nastavenou úroveň a konečným sepnutím se zapne pokles proudu na nastavený klesající průběh proudu pro vyplnění koncového kráteru. Uvolněním spínače se svařovací proces ukončí.

8.4. TECHNICKÉ VYBAVENÍ MODERNÍCH SVAŘOVACÍCH ZDROJŮ

Současné moderní zdroje proudu pro svařování MIG/MAG mají řadu nadstandardních funkcí, které výrazně zlepšují svařovací proces. Díky rozvoji silnoproudé elektroniky můžeme ovládat, sledovat a řídit veškeré svařovací parametry v reálném čase. Mezi běžné vybavení zdrojů patří: **Horký start** pro zajištění natavení začátku svaru u materiálů s vysokou tepelnou vodivostí, **databáze svařovacích programů** pro velkou většinu přídavných materiálů a **synergické řízení** svařovacího procesu. Při synergickém řízení jsou jedním manuálně nastaveným parametrem – tloušťkou materiálu, proudem nebo rychlostí podávání atd., ovládány všechny ostatní svařovací parametry.

Další funkce se kterými se můžeme setkat u současných zdrojů jsou následující:

Řízený zapalovací cyklus u MIG/ MAG umožňuje velice klidné zapálení oblouku v přesně definovaném místě svaru při mechanizovaném a robotizovaném svařování. Při zapálení je v první fázi drát posouván až do kontaktu s materiálem. Po zjištění zkratu se začne drát oddalovat při nízkém zapalovacím proudu, který zapálí pilotní oblouk a drát se zastaví na úrovni nastavené délky oblouku. Následuje fáze posuvu drátu vpřed při současném proudového impulsu, kterým se zapálí svařovací oblouk a nataví se základní materiál i drátová elektroda. Pro zpětný pohyb drátu jsou nutné podávací kladky v hořáku.

Funkce udržování konstantní délky oblouku je využívána při ručním i mechanizovaném svařování. Mikroprocesorem řízenými zdroji se řádově v mikrosekundách srovnávají reálné parametry svařování se zadanými a nastavená délka oblouku se udržuje bez ohledu na vzdálenost hořáku od svařovaného materiálu.

Ukončení svařovacího cyklu proudovým impulzem. Běžné ukončení svaru poklesem proudu pro vyplnění koncového kráteru je standardní výbava většiny zdrojů. Na konci drátu však zůstává kapka kovu přesahující průměr drátu, což zhoršuje znovuzapálení oblouku především u mechanizovaných způsobů svařování. Proudový impuls na úplném konci svařovacího cyklu „odstřihne“ tvořící se kapku a

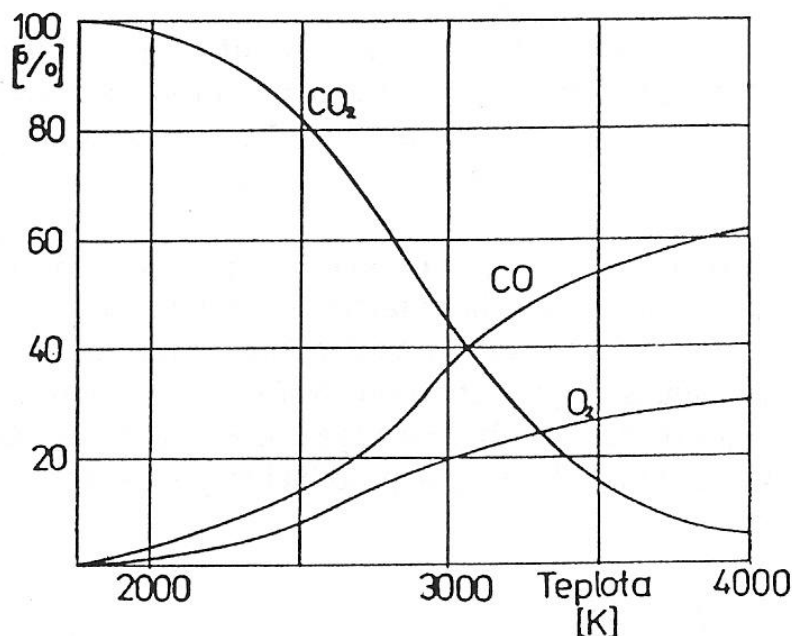
konec drátu zůstane čistý a rovný. Opětovné znovuzapálení oblouku pak probíhá bez problémů.

8.5 METALURGICKÉ REAKCE PŘI SVAŘOVÁNÍ V AKTIVNÍCH OCHRANNÝCH PLYNECH

Aktivní ochranné plyny můžeme rozdělit podle působení na svarový kov na redukční, oxidační a nauhličující. Redukčním účinkem na tavnou lázeň se vyznačuje vodík a směsi s vodíkem, oxidačním účinkem plyny s určitým podílem kyslíku a nauhličující efekt má plyn obsahující uhlík viz tab. 8.1.

Nejdůležitějšími metalurgickými reakcemi jsou oxidační a desoxidační pochody probíhající v kapkách tavící se elektrody a v roztaveném svarovém kovu. Tyto reakce zásadně ovlivňují tvar oblouku i povrch svarové housenky, přechod svarové housenky do základního materiálu a vnitřní čistotu svaru. Na rozsah reakcí má vliv především množství disociovaného kyslíku schopného slučování s prvky v tavenině.

Zdrojem kyslíku v oblouku je jeho podíl v ochranném plynu typu Ar + (1 – 3) %O₂ nebo disociace molekul CO₂, které se rozpadají na CO a O₂ dle obr. 9.15 při svařování v čistém CO₂ nebo ve směsích s argonem. Na obr.8.5 jsou popsány reakce probíhající ve stadiu vzniku kapky tavící se elektrody. Nejdůležitější jsou oxidační reakce – slučování O₂ s Fe, Mn a Si, případně slučování oxidů s uhlíkem za vzniku CO.



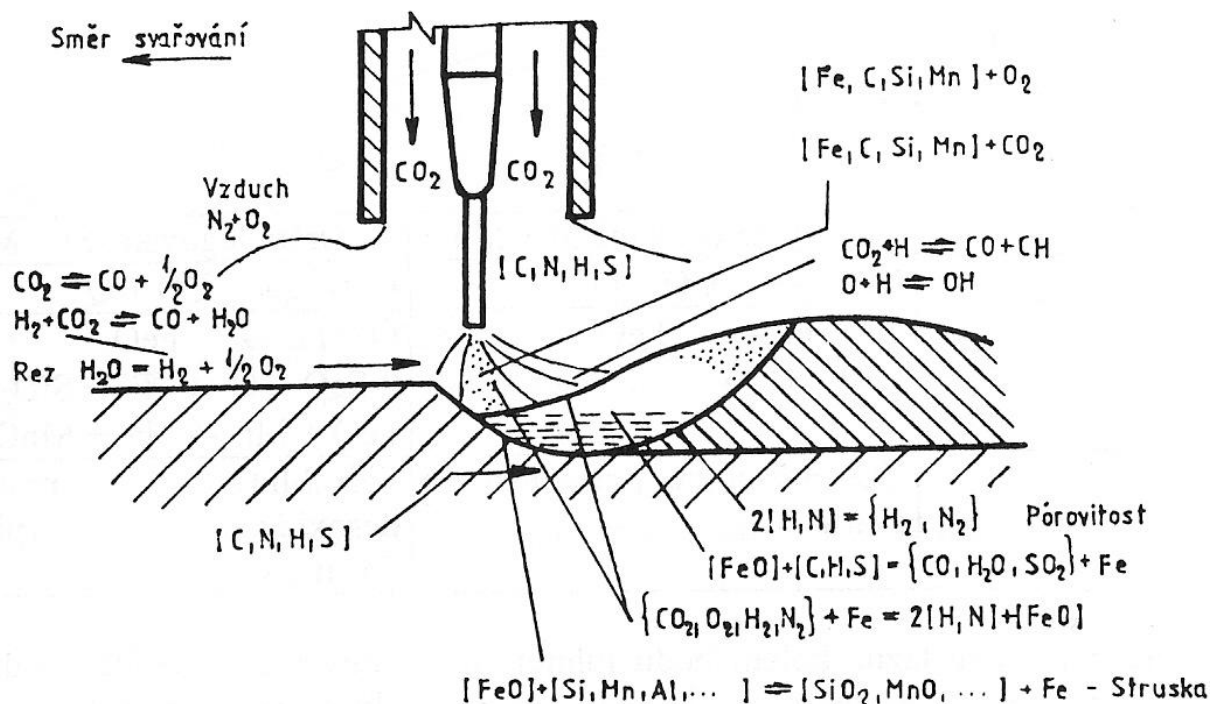
Obr. 8.5 Disociace oxidu uhličitého v závislosti na teplotě.

Vzniklé kapky svarového kovu jsou obohaceny kyslíkem při přechodu do tavné lázně a dosahují vysoké teploty, poněvadž oxidační reakce jsou exotermické. Podobně reaguje kyslík s povrchem taveniny obr. 8.6 a velikost tepla uvolněného reakcemi je závislé na množství kyslíku v ochranném plynu. Exotermickými reakcemi uvolněné teplo je difúzí vedeno do okolního materiálu a výsledkem je hlubší a oválnější svarová lázeň u svaru s ochranným plynem CO_2 , který má větší oxidační schopnost než u směsi $\text{Ar} + \text{CO}_2$, nebo v čistém Ar .

Slučováním oxidu FeO s C se tvoří bubliny CO , které jsou za určitých podmínek příčinou pórovitosti a bublinatosti svarů. To je také jeden z důvodů, proč se musí provést dokonalá desoxidace taveniny svarového kovu.

Desoxidačními prvky Mn a Si jsou přídatné materiály přelegovány v určitém poměru tak, aby vzniklá struska měla vhodnou tekutost a snadno vyplavala na povrch tavné lázně obr. 8.7.

Doporučený poměr mezi $\text{Mn} : \text{Si}$ je cca 1,5 : 1 až 1,8 : 1 a optimální složení přídatných materiálů je: $\text{C} = 0,1\%$, $\text{Mn} = 1,7\%$, $\text{Si} = 1,0\%$.



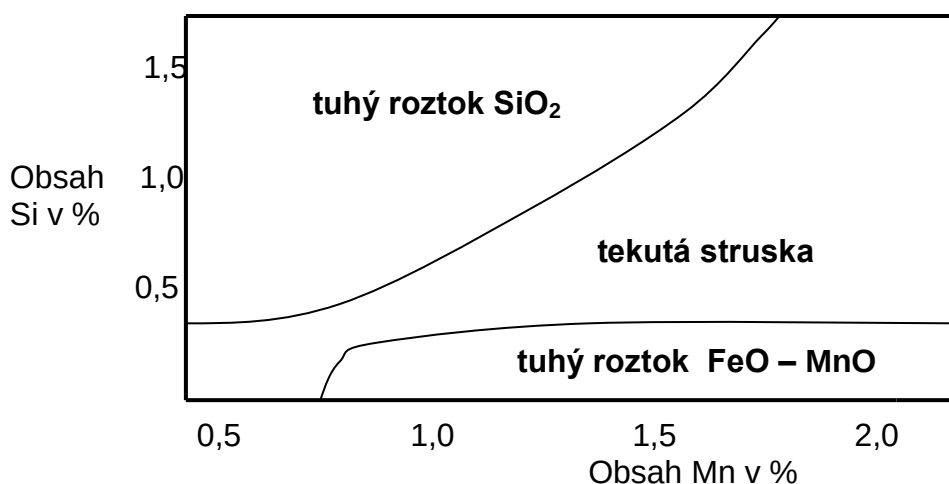
Obr.8.6 Reakce ochranné atmosféry s povrchem svarové lázně.

Důsledkem desoxidačních reakcí jsou oxidy, které vyplavou na povrch svarové lázně, kde tvoří malé ostrůvky strusky. Množství strusky je závislé na množství kyslíku nebo oxidu uhličitého ve směsi ochranného plynu. V čistém CO_2 je 1g strusky úměrný cca 150 g navařeného kovu.

Chemické složení strusky u běžného přídavného materiálu při svařování uhlíkové oceli:

14% FeO, 40% MnO, 45% SiO₂, částečně Cu₂O a oxidy stopových prvků. Vzhled strusky při desoxidaci Mn a Si je tmavě zelený a pokud použijeme k desoxidaci Al je struska šedočerná.

V následující tabulce č.8.3 jsou chemické reakce probíhající v tavné lázni bez desoxidačních přísad a s přísadami Mn a Si.



Pozn. prvky Mn a Si jsou obsažené v přídavném materiálu.

Obr. 8.7 Závislost obsahu manganu a křemíku na tekutost strusky.

Tab. 8.3 Chemické reakce v tavné lázni

Drát	Dráty nelegované Si + Mn	Dráty legované Si + Mn
Oblouk	$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$	$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$
Roztavená lázeň	$\text{O} + \text{Fe} \rightarrow \text{FeO}$ $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$	$\text{O} + \text{Fe} \rightarrow \text{FeO}$ $2 \text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{SiO}_2$ $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$
Produkt	CO způsobuje pórovitost ve svaru	SiO ₂ , MnO - produkty desoxidace vyplavou do strusky

Při teplotách svarové lázně kolem bodu tuhnutí se na desoxidaci nejvíce podílí Si a pak V, Cr, C, Mn. S růstem teploty v oblouku a svarové lázni se zvyšuje desoxidační schopnost Al,

Ti, C, Mn. Strusku na povrchu svaru je nutno před navařením další svarové housenky odstranit.

OCHRANNÝ PLYN	
STARGON C - 8	
STARGON C -18	
STARGON PB	

Obr. 8.8 Ukázka povrchu svarů zhotovených s různým složením ochranných plynů

Tab. 8.4 Složení ochranných plynů pro MAG svařování firmy SIAD

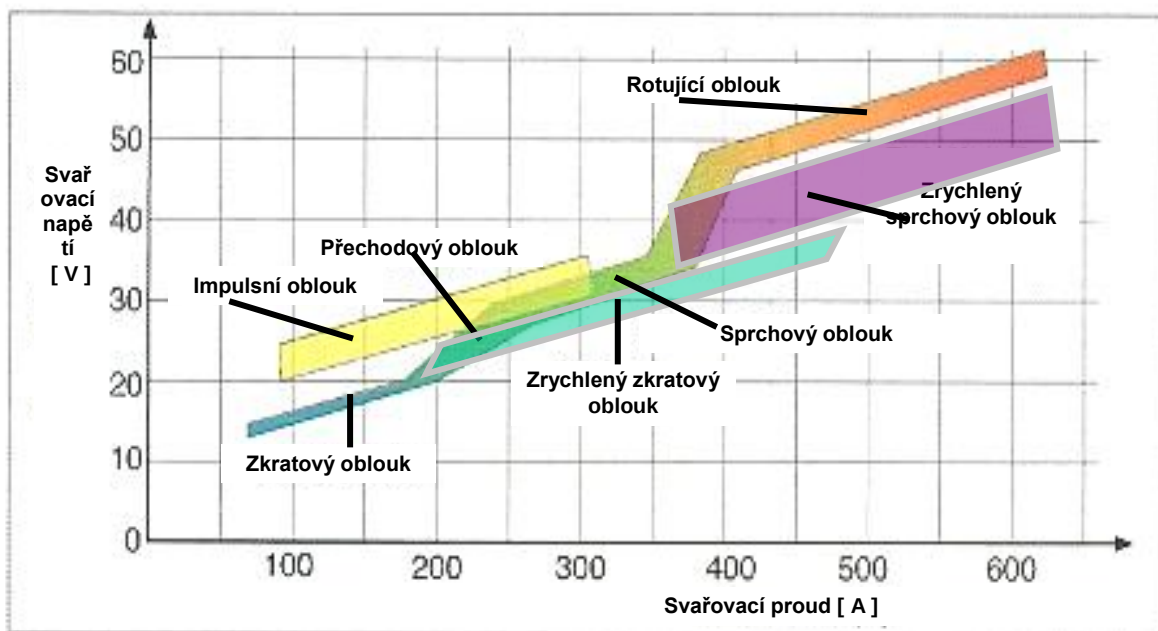
		SLOŽENÍ PLYNU %					
		Ar	CO ₂	O ₂	H ₂	He	N ₂
STARGON	Argon S	100					
	Argon 5.0	100					
	Stargon O-2	98		2			
	Stargon O-5	95		5			
	Stargon O-8	92		8			
	Stargon C-2	97,5	2,5				
	Stargon C-5	95	5				
	Stargon C-8	92	8				
	Stargon C-13	87	13				
	Stargon C-18	82	18				
	Stargon SCH1	80	15	5			
	Stargon SCH2	90	5	5			
	Stargon PB	95	3	2			

8.6 PŘENOS KOVU V OBLOUKU

Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou a závisí především na svařovacích parametrech tj. proudu a napětí. Významně však jeho charakter ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování

Přenos kovu v oblouku můžeme rozdělit na jednotlivé typy, které jsou znázorněné na obr. 8.9:

- krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem
- přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty
- dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem
- impulzní bezzkratový oblouk
- moderovaný bezzkratový přenos – zrychlený zkratový přenos
- dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu



Obr. 8.9 Oblasti přenosu kovu v oblouku.

8.6.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Zkratový přenos se uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu od 60 do 180 A a napětí 14 – 22 V. Výkon navaření při těchto parametrech se pohybuje v rozmezí 1 – 3 kg.hod⁻¹.

Při zkratovém způsobu přenosu dochází k přerušování oblouku zkratem, při kterém se odděluje část kovu elektrody.

Bylo prokázáno, že při nízkých proudech a vysokém napětí 25 – 30 V je frekvence kapek malá a rozstřík kovu velký. Pro drát 1,2 mm je frekvence kolem 5 kapek za sekundu při napětí cca 27 V. Se snižujícím se napětím roste počet zkratů na 150 až 200 za sec. při 14 – 18 V.

Tento proces souvisí se zkracující se délkou oblouku, kdy se vlivem posunu přiblíží drát do zkratu s tavnou lázní dříve, a tím se zamezí růstu kapky kovu. Vlivem povrchového napětí taveniny se kapka kovu rovnoměrně rozptýlí ve svarové lázni.

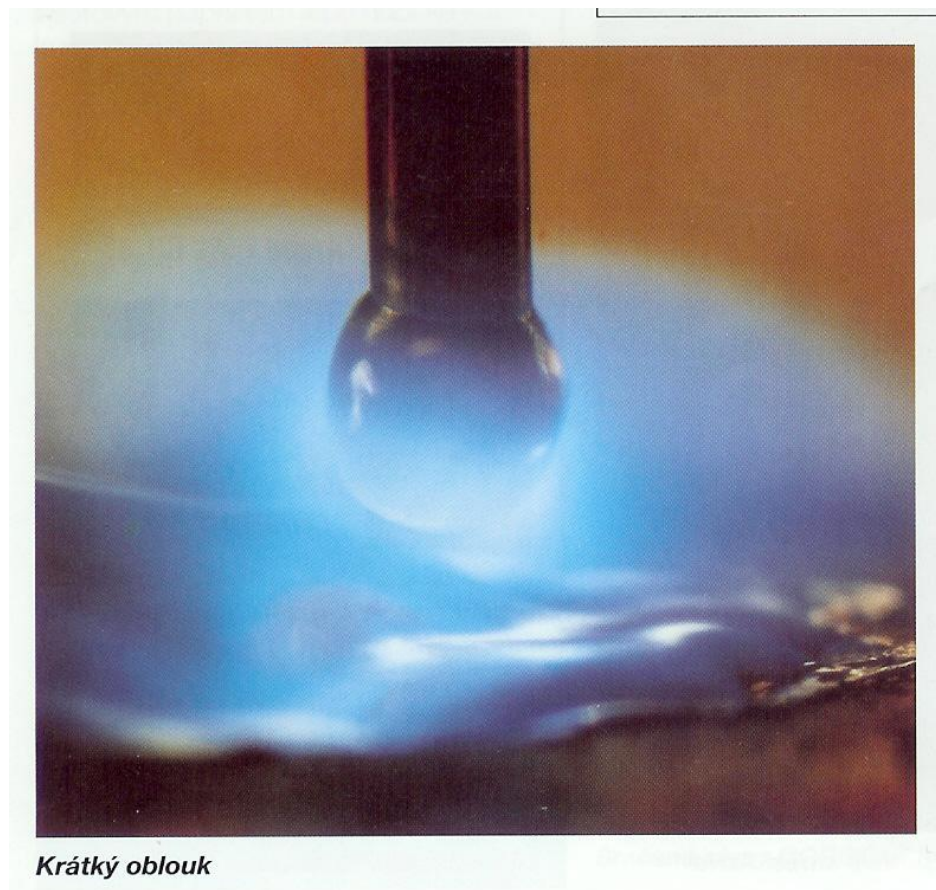
Na obrázku 8.11 je znázorněn průběh napětí a proudu při zkratovém cyklu.

Parametry svařování: $I = 120 \text{ A}$, $V = 19 \text{ V}$, průměr drátu 1,2 mm, posuv drátu $v_r = 2,54 \text{ m.min}^{-1}$, ochranný plyn CO_2 .

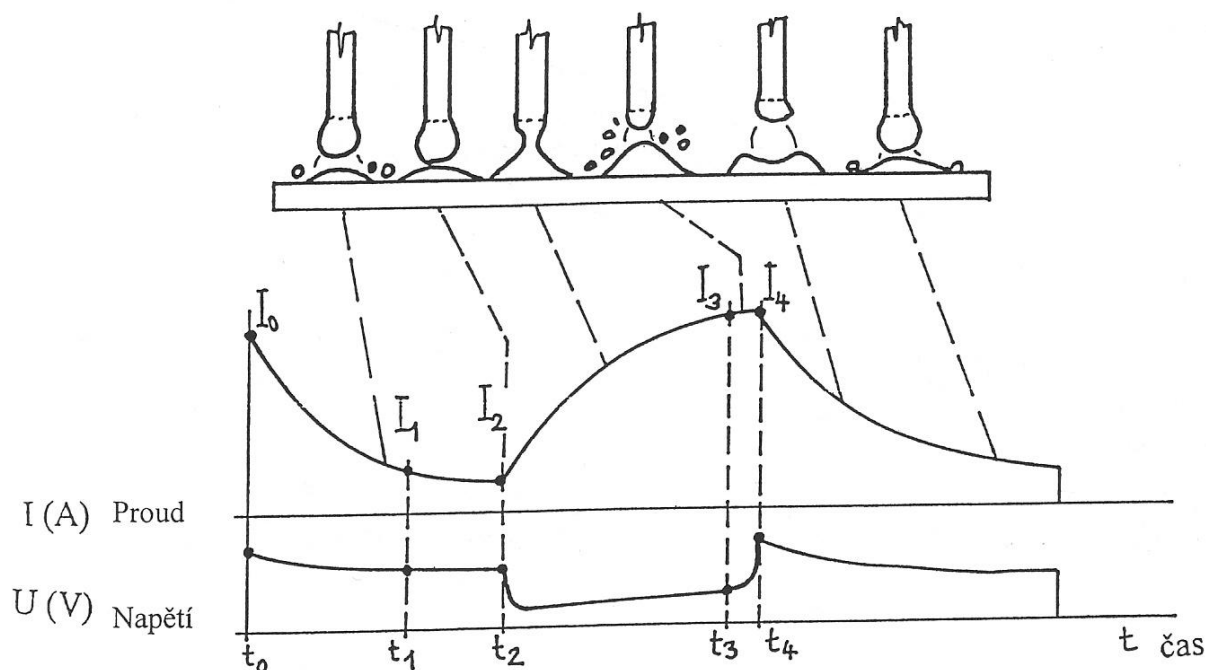
V bodě t_0 dochází při proudu I_0 k zapálení oblouku. Při poklesu proudu na hodnotu I_1 je ohřívána svarová lázeň působením tepla oblouku.

V bodě I_2 se drát dotkne povrchu svarové lázně a vlivem krátkého spojení začne proud exponenciálně stoupat a to v závislosti na celkové indukčnosti obvodu. Napětí

přítom klesne na minimální hodnotu. V intervalu $t_2 - t_4$ je drát ohříván odporovým teplem, které přispívá k snadnému oddělení kapky v intervalu I_3 a I_4 při špičkovém proudu cca 250 – 300A. Oddělení kapky při vysoké intenzitě proudu je hlavní příčinou rozstříku kovu při zkratovém přenosu. Pravidelným zhasínáním elektrického oblouku se vnáší do svaru menší množství tepla, což snižuje tepelně deformační účinek svařování.



Obr. 8.10 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu



Obr. 8.11 Průběh napětí a proudu při zkratovém přenosu

Podmínkou zkratového procesu jsou dynamické vlastnosti zdroje, které umožňují proudovou špičku vhodné velikosti. Zvuk zkratového přenosu je rovnoměrný jemný praskavý tón. Drsné a nepravidelné praskání je známkou vysokého proudu a naopak hluboký měkký zvuk svědčí o vysokém napětí. [Zkratový přenos](#) je uskutečnitelný ve všech ochranných plynech. Při použití oxidu uhličitého se napětí na oblouku nastavuje o 2 – 3V vyšší než ve směsi Ar/CO₂, ale pro směs Ar/O₂ o 1 – 2 V nižší. Přehled proudového zatížení pro jednotlivé průměry drátů jsou v tabulce 8.4.

Užití zkratového přenosu je především v oblasti svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, překlenutí širších mezer, svařování polohových svarů a pro svařování vysokolegovaných ocelí.

Tab. 8.5 Proudové rozsahy pro svařováním zkratovým procesem.

průměr drátu (mm)	proudové rozsahy		
	nízký proud (A)	vysoký proud (A)	průměrný proud (A)
0,8	50	130	90
1,0	70	160	120
1,2	90	200	150

8.6.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Zkratový zrychlený přenos se vyznačuje neobvyklými parametry. Napětí odpovídá konvenčnímu zkratovému přenosu tj. rozsahu 14 – 25 V, ale proud a rychlost podávání se pohybuje v oblasti sprchového přenosu, tj. nad 200A. Firma AGA označuje tento přenos jako proces RAPID ARC. Výkon navaření je také vyšší a jeho hodnota 3 – 10 kg.hod⁻¹ odpovídá také rozsahu sprchového přenosu.

Při vlastním procesu je drát vysokou podávací rychlostí tlačěn do svarové lázně pod relativně velkým uhlím sklonu hořáku. Vysoká frekvence zkratů neumožňuje dostatečně dlouhou dobu na tvorbu velké kapky jako u konvenčního zkratového způsobu. Odporovým teplem při dlouhém výletu drátu (25 až 30 mm) a vysokém proudu je konec elektrody dostatečně přehřátý a působením elektromagnetických sil oddělený ve svarové lázni.

Vzhledem k velké vzdálenosti plynové trysky od materiálu a velkému sklonu hořáku je nutné zvýšit průtok plynu na 20 až 30 l. min⁻¹.

Tento typ přenosu kovu umožňuje svařovat s vysokým výkonem navaření i vysokou rychlostí svařování tenké plechy od 1 mm, kořeny svarů i polohové svary. Svařování se uskutečňuje ve směsi Ar + 8% CO₂, s malým rozstříkem bez ulpívání kapek na povrchu svařovaného materiálu a dobrým profilem svarové housenky.

8.6.3 Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (někdy označován jako kapkový)

Tento typ přenosu vzniká při průměrných hodnotách oblouku. Napětí se pohybuje v rozmezí 22 až 28V a proud od 190 do 300A.

Při přenosu se konec elektrody, vlivem vysokého proudu, nataví do velké kapky. Reakčním tlakem par se kapka vydouvá mimo osu drátu a oblouk putuje po roztaveném konci elektrody až magnetické síly přeruší můstek. Kapka je vymrštěna do svarové lázně vysokou rychlostí, ale s malou frekvencí 5 – 40 kapek za sekundu. Přechodový oblouk se projevuje výrazněji v CO₂ (velké povrchové napětí) a způsobuje velký rozstřík vznikající při občasných nepravidelných zkratech a mimoosém vymrštění kapky. Lze jej využít pro svařování středních tloušťek, ale z důvodu hrubé svarové housenky a výraznému rozstříku se nedoporučuje používat.

8.6.4 Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

Sprchový přenos je typický pro hodnoty svařovacího proudu do 200 do 500A a napětí 28 až 40V. Tento typ přenosu se dá realizovat ve směsích plynů Ar s CO₂, případně O₂, nebo čistém Ar u svařování neželezných kovů – obr. 8.13 Vzhledem k vysokým hodnotám povrchového napětí v CO₂, nelze tento přenos realizovat, poněvadž nelze získat dostatečně drobné kapky.

Charakteristické pro sprchový přenos v Ar a směsích bohatých argonem (minimálně 80%) je, že díky snadné ionizaci plynu obklopuje plazma i konec tavicí se elektrody a tím se urychluje ohřev drátu, který tvoří ostrý hrot. Tomu přispívá i přehřev drátu vlivem odporového tepla při dlouhém výletu (15x průměr drátu). Účinkem magnetického pole jsou tvořící se drobné kapky ustříženy a jsou osově urychleny ve vysoké frekvenci 150 – 350Hz směrem do tavné lázně.

Při celé periodě oddělované kapky je proud vcelku konstantní, pouze v okamžiku přerušení můstku je zřetelné mírné zvyšování proudu. Oblouk nezhasíná a do základního materiálu se přenáší velké množství tepla. Proto je sprchový přenos charakteristický velkou hloubkou závaru, který roste lineárně s hodnotou proudu, klidným hořením oblouku a vysokým výkonem navaření 3 – 12 kg.hod⁻¹, které je až čtyřikrát vyšší než u zkratového přenosu. Akusticky se elektrický oblouk projevuje syčením, které občas přerušuje prasknutí. Povrch svarové housenky je hladký a čistý s plynulým přechodem do základního materiálu a bez rozstříku. Parametry sprchového přenosu v závislosti na průměru drátu jsou uvedeny v tab. 8.5.

Sprchový přenos je využitelný pro výplňové housenky svarů středních a velkých tloušťek. Velikost tavné lázně s větším objemem tekutého kovu však dovoluje svařování ve vodorovné poloze a omezeně v polohách.

Tab. 8.6 Nastavení parametrů pro sprchový proces v závislosti na průměru drátu.

průměr drátu (mm)	rychlost posuvu drátu (m.min ⁻¹)	svařovací proud (A)	svařovací napětí (V)
0,8	11	180	26
1,0	10	220	28
1,2	8	280	30

8.6.5 Impulsní bezzkratový přenos

Svařování impulsním proudem je zvláštní formou bezzkratového přenosu kovu, Parametry svařování impulsním proudem překrývají oblast zkratového i sprchového přenosu.

Impulsní forma přenosu kovu obloukem, jehož průběh je řízen elektronickou cestou, má pravidelný cyklus daný frekvencí amplitudy impulsního proudu. Základní proud je nízký od 20 do 50 A a jeho funkce je udržení ionizace sloupce oblouku, a tím i vedení proudu. Impulsní proud, který se nastavuje, je tvarově i časově řízený a v konečné fázi jeho amplitudy je zajištěno odtavování kapky přídavného materiálu. V celém průběhu amplitudy impulsního proudu intenzivně hoří oblouk, který ohřívá svarovou lázeň i samotný přídavný materiál.

Průběh impulsní formy proudu obr. 8.12 může být pravoúhlý, oblý, nebo jsou u moderních digitálních zdrojů amplitudy proudu různě tvarovány v závislosti na druhu přídavného materiálu. Závislostí frekvence impulsů na proudu se udržuje velikost kapky na téměř konstantní úrovni. Pro nízký svařovací proud musí být i frekvence impulsů nízká, tak aby kapka kovu dosáhla optimální velikosti. Naopak vysoký svařovací proud nutně vyžaduje vysokou frekvenci impulsů. Nastavení šířky impulsu a frekvence není libovolné ale je dáno vztahem $f = 1 / T_p$, kde T_p je doba trvání impulsu a f je frekvence. To znamená při frekvenci 500Hz může být max. šířka impulsu 2 ms a pokud se zvětší šířka impulsu musí se snížit frekvence. Šířka impulsu má časový interval od 0,2 do 5 ms. Obecně se frekvence impulsů pohybuje mezi 25 – 500 Hz, výjimečně 1kHz.

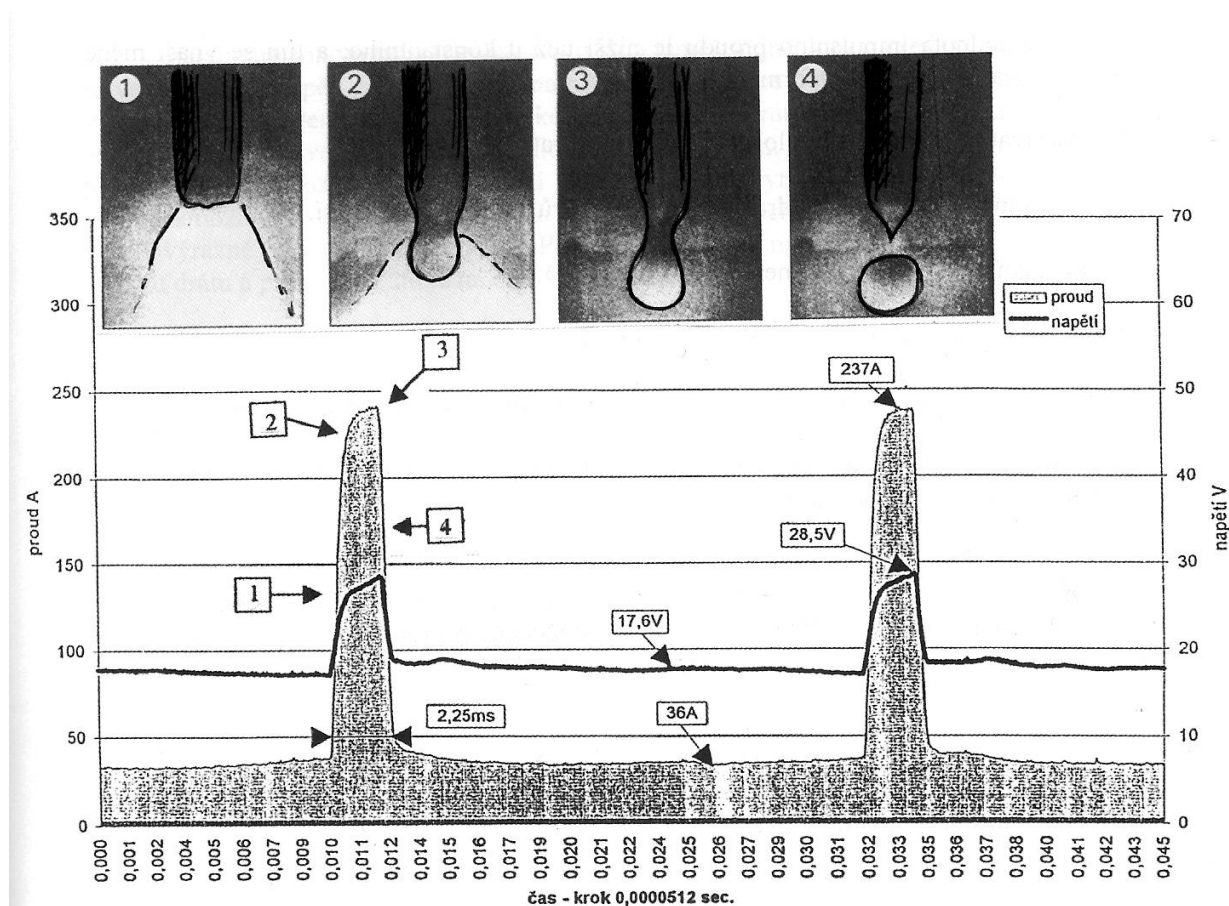
Současné nejmodernější digitální zdroje firmy Fronius pro svařování hliníku umožňují střídat klasickou impulsní frekvenci 25 až 500 Hz a dlouhé pulsy od 0,5 do 10 Hz při současně pulsaci podávání drátové elektrody. Při svařování hliníku a jeho slitin se tímto spojením krátkých i dlouhých pulsů se dosáhne kresby svarové housenky podobné jako u svařování metodou WIG a snížení vneseného tepla se umožňuje svařovat i tenké hliníkové plechy od 0,8 mm.

Svařování impulsním proudem má řadu výhod :

- efektivní hodnota impulsního proudu je nižší než u konstantního, a tím se vnáší méně tepla do svaru s menším deformačním účinkem
- lze svařovat tenké plechy i polohové svary bezzkratovým přenosem
- vysoký impulsní proud taví i dráty větších průměrů, které jsou levnější
- výkon navaření se pohybuje mezi 2 – 5kg. hod⁻¹
- pravidelná jemná kresba povrchu svaru i kořene

- velmi vhodný přenos pro svařování hliníku a jeho slitin i vysokolegovaných ocelí
- díky možnosti nastavení proudu, napětí, frekvence a amplitudy poskytuje zdroj impulsního proudu široké aplikační možnosti.

Optimální plyn pro svařování uhlíkových ocelí je směs Ar s 8% CO₂ a pro nerezavějící oceli Ar + 2%O₂. U hliníku se používá čistý argon.



Obr. 8.12 Impulsní forma přenosu kovu v oblouku

8.6.6 Moderovaný bezzkratový přenos – zrychlený sprchový přenos

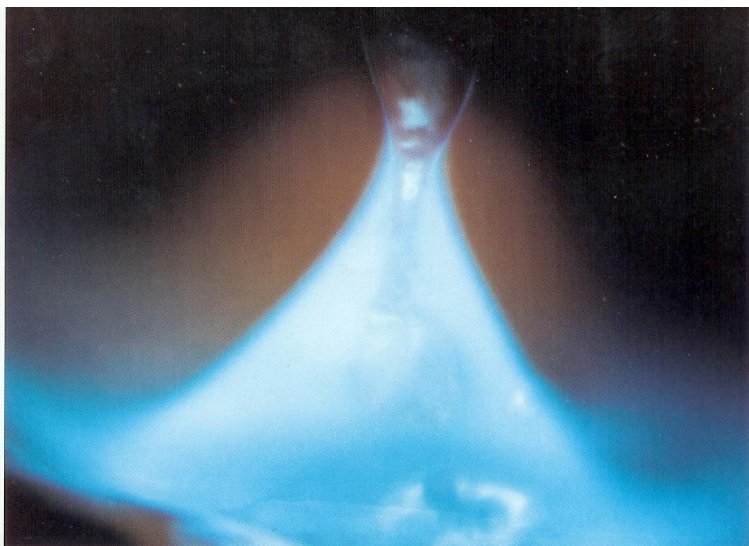
Výrazným zvýšením napětí i proudu se pracovní oblast hoření oblouku posune do oblasti velmi vysokých výkonů svařování. Moderovaný bezzkratový přenos (firma AGA jej označuje RAPID MELT) probíhá při vysokých proudech 450 až 750 A, při napětí v rozmezí 40 až 50 V. Vysokým parametrům svařování odpovídá i vysoká rychlost posuvu drátu, která se pohybuje od 20 do 45 m.min⁻¹ a zvýšení výkonu odtavení až na 25 kg.hod⁻¹. Doporučená plynová ochrana je tvořena směsí argonu a 8 % oxidu uhličitého při průtoku plynu v rozmezí 18 – 25 l.min⁻¹.

Vlastní přenos je tvořen relativně rozměrnými kapkami kovu (velikost přibližně odpovídá průměru drátu), které jsou odtavovány s vysokou frekvencí z dlouhého volného konce elektrody. Kapky jsou vysokou rychlostí urychlovány do tavné lázně, která je plazmou oblouku i dopadem kapek tvarována do hlubokého a úzkého

závaru. Díky vysokým parametrům svařování může být vysoká i rychlost svařování při velké tloušťce svařovaného materiálu.

8.6.7 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

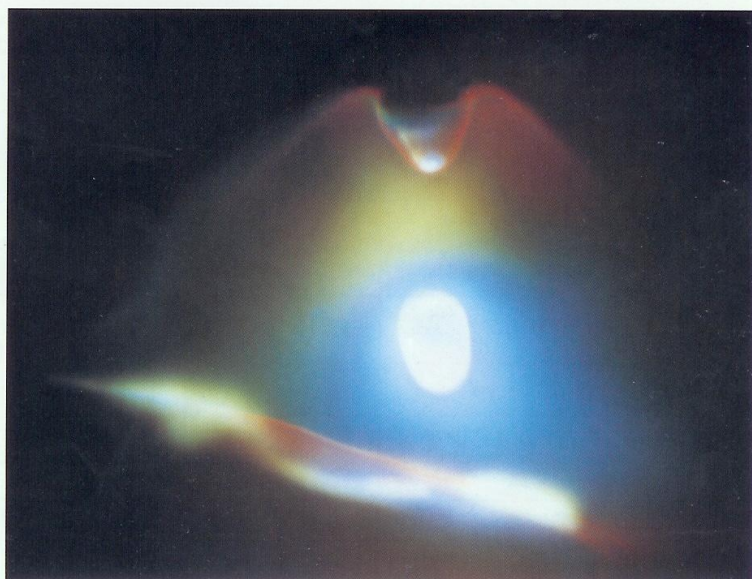
Parametry tohoto typu přenosu kovu jsou téměř stejné jako u předešlého procesu. Liší se ve zvýšeném napětí na oblouku až na 65 V a větší volné délce drátu nad 20 mm. Vlivem vysoké hodnoty intenzity proudu a velké volné délce je drát odporovým teplem předehříván téměř na teplotu tavení. Intenzivním silovým magnetickým polem je konec drátu ve vysoce plastickém stavu roztáčen a odtavující se kapky kovu vytváří kuželovou plochu- obr. 8.13 [Rotující oblouk](#) umožňuje velmi dobrý závar do boků svarové plochy a vytváří se hluboký a široký svar s výrazně miskovitým profilem.



Sprchový oblouk



Rotující oblouk



Impulzní oblouk

Obr. 8.13 Sprchový, rotující a impulsní přenos kovu v oblouku

8.7 OCHRANNÉ PLYNY

Ochranné plyny jsou nedílná a velmi důležitá součást metody svařování tavící se elektrodou v ochranných plynech. Základním úkolem ochranných plynů je ochrana tavné lázně před vlivy okolní atmosféry. Přítomnost vzduchu způsobuje oxidaci a nitridaci svarového kovu, které výrazně zhoršují mechanické vlastnosti svarových spojů. Ochranné plyny svou ionizační schopností umožňují stabilní hoření elektrického oblouku a přispívají k přenosu tepelné energie do svaru.

Ochranné plyny svým složením a množstvím ovlivňují celou řadu svařovacích charakteristik.

Kromě jednotlivých vlivů plynů na charakter svařování, které jsou uvedeny v kap. 7. jsou především u metody MIG/MAG významné tyto:

- způsob přenosu svarového kovu obloukem,
- hloubka závaru a profil svaru,
- množství rozstříku,
- rychlost svařování,
- stabilita elektrického oblouku.

Jako ochranné plyny pro metodu **MAG** se používá čistý plyn oxid uhličitý CO_2 , nebo v současnosti častěji používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu – $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ a $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$.

Při svařování metodou **MIG** se používá většinou čistý plyn argon a helium nebo jejich dvousložková směs $\text{Ar} + \text{He}$. Čistota plynů a přesnost míchání směsí jsou stanovené normou ČSN EN 439.

Oxid uhličitý CO_2

Oxid uhličitý je nehořlavý, nejedovatý a bezbarvý plyn, jehož bod varu je $-78,45\text{ }^\circ\text{C}$. Jeho hustota je $1,976\text{ kg.m}^{-3}$ a je tedy těžší než vzduch s relativní hustotou 1,53, přičemž hranice udušení pro člověka je cca 15% oxidu uhličitého ve vzduchu. Vysoká hustota plynu příznivě ovlivňuje funkci plynové ochrany především v běžných polohách PA, PB a PC. Oxid uhličitý má vysokou tepelnou vodivost s vysokým přenosem tepla do svarové lázně. Tento přenos tepla spolu s teplem získaným exotermickými oxidačními reakcemi zajišťuje velmi dobré natavení svarových hran, hluboký průvar s oválným profilem svarové housenky a dobré odplynění svarové lázně.

Optimální pracovní oblast oxidu uhličitého je ve srovnání se směsným plynem podstatně užší a nastavení optimálních parametrů svařování vyžaduje určitou zkušenost a praxi. Oxid uhličitý způsobuje vysoké povrchové napětí na roztaveném konci elektrody, které se snaží udržet kapky na elektrodě. Kapky se oddělují s velkým objemem a zpravidla jejich poloměr v roztaveném stavu přesahuje 0,8 mm. Takové kapky se po dopadu na okolní materiál nataví a způsobují obtížně odstranitelný rozstřík, který zvyšuje pracnost výroby svařenců.

Obsah oxidů ve svaru je vysoký, stejně jako množství strusky na povrchu. Povrch svarové housenky je dosti nerovnoměrný s větším převýšením a přechod svarového kovu do okolního materiálu je ostrý, se značným vrubovým účinkem.

Pro svařování se používá CO_2 s čistotou min. 99,5%. Zbytek tvoří nečistoty a vlhkost, které nesmí být více jak 0,04 %. V lahvích o obsahu 20 a 40 l je plyn v kapalném

stavu pod tlakem 5 MPa. Litř kapalného plynu, při 0 °C a tlaku 760 mm Hg dává 504,4 l plynu.

Při odpařování a expanzi plynu dochází k ochlazení, které vede k zamřzení ventilů. Proti zamřzení se používají elektrické ohříváče jako součást redukčního ventilu, které jsou připojené na zdroj proudu.

Tlak páry vody v CO₂ zcela závisí na tlaku plynu. Čím je menší tlak plynu, tím větší je koncentrace vody a zvláště intenzivní navlhčení plynu nastává pod 1 MPa, kdy roste nebezpečí pórovitosti svarů.

Kyslík O₂

Kyslík je nehořlavý plyn, ale oxidační hoření podporuje. Je těžší než vzduch s hustotou 1,429 kg.m³ a relativní hustotou 1,11. Při atmosférickém tlaku má teplotu varu – 183 °C. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu stejně jako dusík a argon. Používá se ve směsích s argonem v rozpětí obsahu 0,03 – 3 %, a ve směsi s argonem a oxidem uhličitým, případně heliem v rozsahu 1 – 8 %. Kyslík výrazně zvyšuje tekutost svarové lázně a povrchové napětí roztaveného kovu, což je jeho hlavní důvod přidávání do ochranného směsného plynu. Tímto působením kyslíku se zlepšuje odplynění svarové lázně, profil svarové housenky a přechod svarového kovu do základního materiálu.

Směsné plyny Ar + 15 až 25% CO₂

Univerzálním plynem pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí metodou MAG je z této skupiny směsný plyn Ar + 18% CO₂. Vyznačuje se velmi dobrými svařovacími vlastnostmi, stabilním elektrickým obloukem a hlubokým závarem.

Umožňuje svařování se zkratovým i sprchovým přenosem kovu a malým rozstřikem, který neulpívá na povrchu. Poskytuje hladký povrch sváru s dobrým přechodem do základního materiálu a je použitelný pro všechny tloušťky plechů.

Směsný plyn A + 8% CO₂

Směsný plyn optimální pro impulsní a sprchový přenos kovu obloukem: Je doporučovaný také pro vysokovýkonné metody svařování při vysokých proudech. Vyznačuje se vysokou rychlostí svařování, plochým svarem, nízkým rozstřikem a minimální tvorbou strusky. Je vhodný pro ruční i mechanizované svařování všech tloušťek plechů.

Směsné plyny Ar + 5 až 13% CO₂ + 5% O₂

Tato směs poskytuje klidný svařovací proces s měkkým elektrickým obloukem, hladké a čisté svary. Vysoký obsah kyslíku zajišťuje velmi dobrou tekutost tavné lázně a výborné odplynění. Sprchový přenos kovu obloukem je možný i při nižší intenzitě proudu. Přednostně se využívá při mechanizovaných a robotizovaných způsobech svařování malých a středních tloušťek.

Tab. 8.7 Disociační a ionizační energie plynů

Plyn	Disociační energie eV/ molekula	Ionizační energie eV/ molekula (první ionizační stupeň)
vodík	4,5	13,6
kyslík	5,1	13,6
oxid uhličitý	4,3	14,4
dusík	9,8	14,5
helium		24,6
argon		15,8

Vliv plynů na stabilitu elektrického oblouku

Při svařování tavící se elektrodou musí být zabezpečeno stabilní hoření oblouku při všech typech přenosů kovu. Čistý argon má dobrou ionizační schopnost (tab.9.4), ale není vhodný pro svařování běžných konstrukčních ocelí, poněvadž oblouk hoří neklidně a kvalita svaru je nízká. Pro kvalitní svařování ocelí jsou nutné oxidační reakce, které zaručí čistý svarový kov s dobrými mechanickými vlastnostmi bez pórů, spolehlivý průvar a pravidelnou kresbou svarové housenky.

Z těchto důvodů je malá příměs oxidu uhličitého, nebo kyslíku nutná i při svařování korozivzdorných chromniklových ocelí.

Argon se používá pro svařování neželezných kovů kde i minimální oxidace není přípustná.

Oxid uhličitý má relativně obtížnou ionizační schopnost tab. 9.4, horší zapalování oblouku a průběh hoření oblouku je charakteristický ostrým praskavým zvukem při oddělování kapek. Vyžaduje také vyšší ionizační napětí než argon. Výhody obou plynů se využívají ve směsích, kde oblouk hoří s vysokou stabilitou a pravidelností.

Vliv plynů na přenos tepla a profil svarové housenky

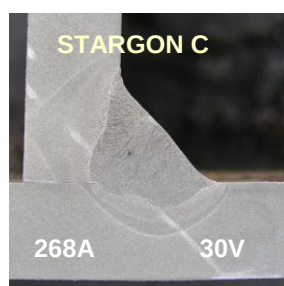
Ochranné plyny mají různou tepelnou vodivost (obr. 7.5), která má výrazný vliv na přenos tepla do svaru a tím i na profil svarové housenky. Při svařování metodou **MIG** se nízká tepelná vodivost argonu dá zvýšit přidáním helia především pro svařování tlustostěnných plechů ze slitin hliníku a mědi. Heliem se zvyšuje také proudová hustota a tím i množství přenášeného tepla do svaru. Profil housenky je při použití helia hluboký i bez předehřevu svařence. Čistý argon se pro svařování vysokolegovaných ocelí již nedoporučuje, poněvadž v argonu se dosahuje pouze mělký závar s hlubokým závarem v ose oblouku. Rychlé tuhnutí taveniny ve spodní části bývá příčinou výskytu vměstků a neprůvarů.

Při svařování metodou **MAG** v čistém oxidu uhličitém je přenos tepla velmi dobrý a přispívá k dosažení hlubokého a širokého profilu oválné svarové housenky. Při vyšších svařovacích parametrech hrozí nebezpečí vzniku vrubů a při velkých ochlazovacích rychlostech mohou ve středu svaru vznikat trhliny.

Tab. 8.8 Porovnání vlastností ochranných plynů a vliv složení na průvar svaru

Vlastnosti	Ar + CO ₂	Ar + O ₂	CO ₂
Závar • normální poloha • nucená poloha	dobrý spolehlivější s rostoucím % CO ₂	dobrý může být kritický z důvodu předbíhání svarové lázně	dobrý spolehlivý
Tepelné zatížení hořáků	vysoké, snižuje se s rostoucím % CO ₂	vysoké, výkon může být omezen, jestliže je hořák příliš horký	nízké díky dobré tepelné vodivosti
Stupeň oxidace	nízký, stoupá s rostoucím % CO ₂	výrazně závisí na obsahu O ₂ (1 – 8%)	vysoký
Porozita	snižuje se s rostoucím obsahem CO ₂	vysoká citlivost	spolehlivá
Přemostitelnost mezery	zlepšuje se s poklesem % CO ₂	dobrá	horší než u směsných plynů
Tvorba rozstříku	stoupá s rostoucím % CO ₂	téměř bez rozstříku	vysoká, stoupá s rostoucím výkonem
Vnášení tepla do svaru	stoupá s rostoucím % CO ₂ nižší rychlost ochlazování menší nebezpečí vzniku trhlin	nejnižší vysoká rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin větší	vysoké malá rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin malé
Typ přenosu kovu obloukem	všechny typy	všechny typy	zkratový, kapkový

Sprchový přenos



Zkratový přenos



8.8 PŘIDAVNÉ MATERIÁLY PRO SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

Svařování metodou MIG/MAG se používá pro spojování ocelí uhlíkových, střednělegovaných i vysokolegovaných, slitin hliníku, mědi, niklu i pro navařování vrstev v oblasti renovací a tvrdonávarů. Těmto základním materiálům odpovídá i velmi široká nabídka přídatných materiálů.

Pro metody obloukového svařování MIG/MAG se používají přídatné materiály ve formě plného drátu a plněného drátu (trubičkové dráty). Dráty jsou navinuté na drátěných nebo plastových cívkách o běžné hmotnosti 15 kg. Cívky se však vyrábějí v širokém sortimentu rozměrů a hmotností drátů – 5, 6, 10, 12, 16, 18, 25, 30 kg a nebo se pro robotizovaná pracoviště dodávají ve svitku baleném v lepenkovém balení hmotnosti až 200 kg. Takové balení umožňuje svařovat bez přerušení práce robota po dlouhou dobu.

Každá cívka nebo svitek musí být opatřen štítkem na kterém jsou tyto údaje výrobce:

- a) označení výrobce,
- b) označení drátu dle výrobce i příslušné normy,
- c) průměr drátu,
- d) hmotnost,
- e) číslo tavby,
- f) klasifikace a certifikace u jiných orgánů.

Při přepravě a skladování musí být drát chráněn proti oxidaci a znečištění. Doporučuje se teplota nad 10°C a relativní vlhkost do 50%. V současnosti jsou všechny dráty chráněny polyetylenovou zatahovací fólií.

Plné dráty jsou vyráběny a dodávány v průměrech 0,6 0,8 1,0 1,2 1,6 2,0 a 2,4 mm. Nejčastěji používané průměry jsou 0,8 až 1,6 mm.

Plněné dráty pro svařování v ochranných atmosférách

V současnosti jsou výrobci drátů nabízeny plněné dráty ve velkém sortimentu a s různými svařovacími vlastnostmi. Základní rozdělení plněných drátů dle výroby do dvou skupin:

- bezešvé plněné dráty
- tvarově uzavřené plněné dráty.

Výroba **bezešvých plněných drátů** vychází z pásu, který je svařen vysokofrekvenčním svařováním do tvaru nekonečné trubičky a kalibrován na plnicí průměr. Po rekrytalizačním žíhání je vibračním způsobem trubička plněna aglomerovaným plnivem, které je současně zhutňováno. Dalším krokem je tažení trubičky na žíhací průměr a žíhání na měkko, při kterém se snižuje obsah vodíku pod hodnotu 5 ml/ 100 g svarového kovu. Následuje několikastupňové tažení na konečný průměr, čištění a leštění případně může být plněný drát pomědřený.

Plášť plněného drátu je většinou z nízkouhlíkové oceli.

Náplň plněných drátů tvoří bazické, kyselé, rutilové, případně fluoridové struskotvorné přísady nebo jejich kombinace, které při odtavování vytvářejí na povrchu svaru tenkou vrstvu strusky ovlivňující formování svaru a kvalitu povrchu. Náplň trubičky obsahuje také legující desoxidační a ionizační přísady které ovlivňují

kvalitu svaru a hoření oblouku podobně jako obal elektrody. Některé trubičky jsou plněné kovovou náplní se stabilizační přísadou. Kovem plněné trubičky se vyznačují snadným zapalováním oblouku, vysokou výtěžností, bezrozstřikovým procesem a vyloučením čištění svaru mezi jednotlivými vrstvami svaru. Jsou velmi vhodné pro svařování na robotizovaných pracovištích. Obecně platí, že trubičky se struskotvornými přísadami se svařují s vedením hořáku směrem dozadu a kovem plněné trubičky směrem dopředu.

Všeobecně se pro použití plněných drátů udávají tyto následující důvody:

- bezpečné natavení svarových ploch a snížení nebezpečí vzniku studených spojů,
- dobrá smáčivost, hladký povrch, bezvrubé přechody,
- bezrozstřikový kapkový nebo sprchový přenos,
- nízká náchylnost na tvorbu trhlin,
- velmi dobré mechanické vlastnosti svarů,
- možnost legování a mikrolegování pomocí náplně bez propalu,
- dobré svařování v polohách

Označování přídatných materiálů

Domácí výrobce **ESAB Vamberk** značí přídatné materiály pro svařování MIG/MAG dle tohoto předpisu :

OK AUTROD XX.XX

První číslo 1 – znamená přídatné materiály pro mechanizovaný způsob svařování

Druhé číslo 2 – vinutý drát pro svařování konstrukčních ocelí

3 – vinutý drát pro svařování nízkolegovaných ocelí

4 – vinutý trubičkový drát pro svařování bez ochranné atmosféry

5 – vinutý trubičkový drát

6 – vinutý vysokolegovaný nerezavějící drát

8 – vinutý drát pro svařování hliníku

9 – vinutý drát pro svařování jiných neželezných kovů.

Třetí a čtvrté číslo jsou pořadová čísla a rozlišení ve skupinách.

Příklad: OK Autrod 13.29 je nízkolegovaný drát pro svařování metodou MIG/MAG nízkolegovaných vysokopevnostních ocelí s dobrou vrubovou houževnatostí při nízkých teplotách. Legující prvky Cr 0,3%, Ni 1,4%, Mo 0,25%, V 0,07%. Svařování v ochranném plynu CO₂ , Ar + 15-20% CO₂.

Původní označení starších, ale ještě vyráběných drátů:

C XXX kde

C označuje **svařování tavící se elektrodou v ochranných plynech** a číselné trojčíslí je stejné jako označení v kapitole 8.5.1 u WIG svařování.

Norma ČSN EN 440 označuje klasifikaci přídatných materiálů pro svařování nelegovaných a jemnozrných ocelí MIG/MAG takto:

EN 440 - G 46 3 M G3Si1 kde

EN 440 je číslo normy

- G svařování v ochranné atmosféře plynu
- 46 pevnost a tažnost (dle tabulky je min. mez kluzu 460 MPa, mez pevnosti 530 až 680 MPa a tažnost 20%)
- 3 nárazová práce – číslo udává desetinu minusové teploty při které bylo dosaženo nárazové práce 47 J. Trojka značí, že této hodnoty bylo dosaženo při –30 °C
- M ochranný plyn – M jsou směsné plyny a C platí pro oxid uhličitý
- G3Si1 chemické složení dle tabulka

Plněné elektrody se označují podle normy **ČSN EN 758** takto:

Plněná elektroda EN 758 – T 46 3 1Ni B M 4 H5

kde EN 758 je číslo normy

- T plněná elektrody
- 46 pevnostní vlastnosti
- 3 nárazová práce
- 1Ni chemické složení dle tabulky
- B typ náplně – bazická náplň
- M ochranný plyn – směsný plyn
- 4 poloha svařování. Poloha svařování označená 4, platí pro tupý svar v poloze vodorovné shora a koutový svar do úžlabí.
- H5 obsah vodíku. Označení H5 platí pro 5 ml/100g čistého svarového kovu.

Typy náplní plněných drátů dle ČSN EN 758:

typ **R** – rutilová náplň, se sprchovým přenosem kovu v oblouku

typ **P** – rutilová náplň, rychle tuhnoucí struska pro svařování polohových svarů,

typ **B** – bazická a fluoridová náplň, střední až hrubší kapkový přenos, vysoká výtěžnost

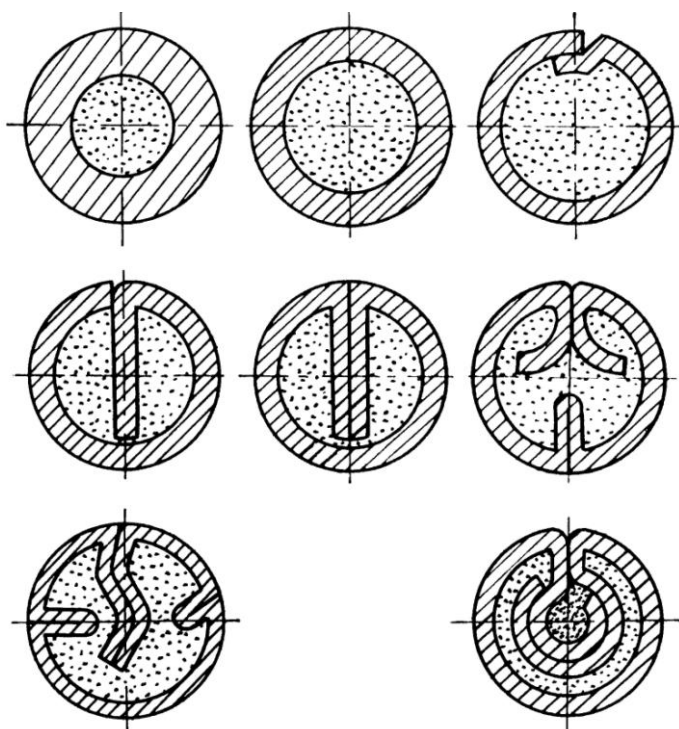
typ **M** – kovová náplň, zkratový, jemný kapkový i sprchový přenos, bez strusky

typ **V** – rutilová nebo fluoridobazická náplň pro svařování bez ochranného plynu, jemně kapkový až sprchový přenos,

typ **W** – bazickofluoridový typ bez ochranné atmosféry s vysokou výtěžností,

typ **Y** – jako typ W pro nízké teploty,

typ **Z** – ostatní neuvedené typy.



Obr.8.14 Podle způsobu výroby je rozdělujeme plněné dráty (trubičky) se švem a na bezešvé trubičky - svařované

Trubičky se švem se vyrábějí z kovového pásku, který se pomocí válců zakružuje a tvaruje

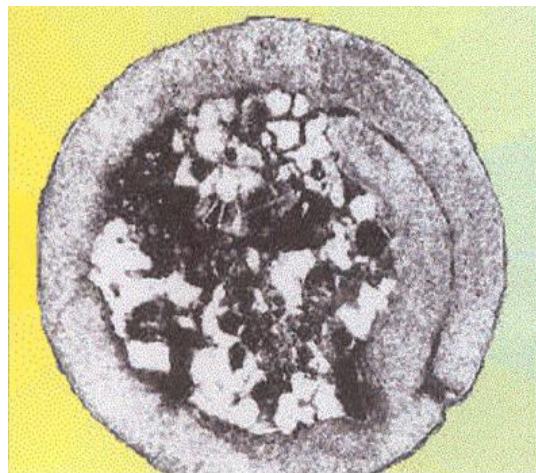
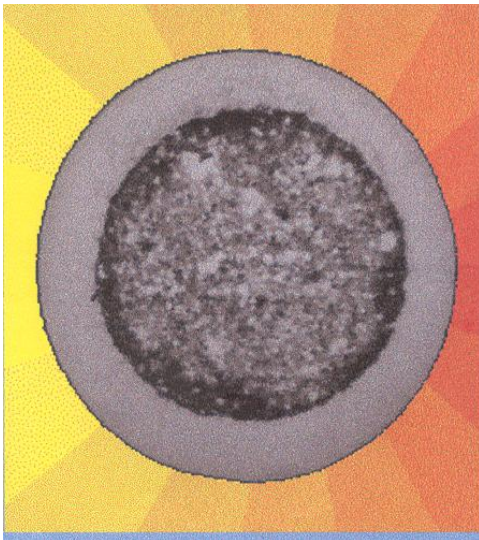
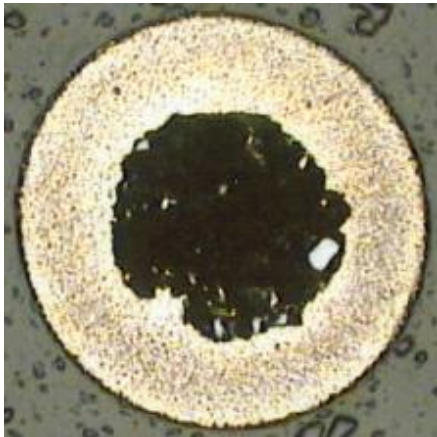
do kruhového průřezu. Před uzavřením trubičky se na vibračním zařízení dává plnivo, a to

podle typu budoucí trubičky. Po té je trubička uzavřena a kalibrována. Nevýhoda tohoto typu

spočívá v mechanickém uzavření trubičky a při větším tlaku v podávacích kladkách může dojít k otevření trubičky. Tento typ trubiček se dodává bez povrchové úpravy, je nepomědňá.

Takto vyráběné trubičky se dodávají od průměru 1,2 mm nahoru.

Trubičky bezešvé se vyrábějí z kovového pásku, který je stočen do trubičky o průměru přibližně 10 mm a následně vysokofrekvenčně svařen. Tento polotovar budoucí trubičky je následně žíhán na odstranění deformačního zpevnění a napětí po svařování. Pak dochází k vibračnímu plnění trubičky legující případně struskotvornou náplní. Dále se tato trubička táhne na požadovaný průměr, který může být od průměru 1,00 mm nahoru. A na rozdíl od trubiček se švem se tyto následně moří a opatřují vrstvou mědi, což má příznivé účinky pro lepší přenos svařovacího proudu z kontaktní špičky na svařovací drát a zajištění korozivzdornosti.



Obr. 8.15 Příčné řezy plněnými dráty

Rozdělení a technologie svařování plněným drátem podle náplně.

V současné době se plněné dráty pro svařování dodávají se třemi typy náplní, které tvoří standart v této oblasti. Jedná se o náplně :

Bazická – svarový kov je pokryt vrstvou strusky, která obsahuje vápenec, fluoridy a oxidy hliníku a alkalických zemin. Bazické náplně mají dobré rafinační účinky na svarový kov, což příznivě ovlivňuje vrubovou houževnatost a odolnost proti trhlinám při nízkých teplotách. Struska je hůře odstranitelná.

Rutilová- svarový kov je pokryt vrstvou strusky, která obsahuje převážně oxid titaničitý. Tato struska je rychletuhnoucí a je určena hlavně pro svařování v polohách, kde pomáhá formovat svar a výrazně zvyšuje rychlost svařování v pozicích. Struska je snadno odstranitelná.

Kovová - svarový kov je bez strusky, trubička je plněna kovovým práškem, legujícími přísadami a prvky stabilizují hoření oblouku. Tento typ má vysokou výtěžnost a výsledný svár je bez strusky a rozstříku. Moderní typy těchto trubiček

určeny do všech poloh svařování a jsou vhodné především pro robotizované svařování.

Polarita – většina dnes vyráběných typů trubičkových drátů je vyráběna pro zapojení na plus pol, tedy stávající zapojení jako pro plný drát.

Přesto doporučujeme zkontrolovat polaritu zapojení podle materiálového listu trubičkového drátu, protože někteří výrobci mohou dodávat typy pro zapojení na opačnou polaritu. V případě nesprávné polarity hoří oblouk velmi neklidně, tvoří vruby, zápaly, provedený svár je nekvalitní a v okolí sváru je zvýšený rozstřík.

Ochranná atmosféra- plněné dráty jsou určeny pro směsné ochranné plyny na bázi argonu a oxidu uhličitého v poměru 82/18, označené dle EN 439 - M21. Lze svařovat také v čistém oxidu uhličitém, ale je nutno nastavit větší napětí, přibližně o 3 volty.

Výlet drátu - výlet drátu, tedy vzdálenost mezi svařovacím průvlakem a hořícím elektrickým obloukem na konci drátu má podstatný vliv na provedený svár a jeho vlastnosti.

U plných drátů se doporučuje výlet drátu jako následující hodnota :

$$5 \times \text{průměr drátu} + 5 \text{ mm}$$

U trubičkových drátů se doporučuje následující výpočet :

$$5 \times \text{průměr drátu} + 12 \text{ mm}$$

8.9. PARAMETRY A PODMÍNKY SVAŘOVÁNÍ

8.9.1 Svařovací napětí

Napětí na oblouku představuje potenciální rozdíl mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně. Mění se podle délky oblouku a na odtavovací výkon má jen malý vliv. Výrazný vliv má napětí na šířku svarové housenky obr. 8.16 , ale hloubku závaru ovlivňuje samotné napětí jen málo. Na svařovacím zdroji se nastavuje napětí, při svařování v čistém oxidu uhličitém je nutno zvýšit napětí o 2 – 3V než u směsných plynů.

Obecná platnost nastavení hodnoty napětí: $U = 15 + 0,035 I_s \text{ (V)}$
kde U = pracovní napětí, I_s = svařovací proud

Napětí na oblouku má důležitý vliv na dosažení optimálních podmínek samoregulace délky oblouku a ustálení pracovního bodu.

Napětí má vliv na kontrakční účinky oblouku, ovlivňují tvar a rozměry oblouku.

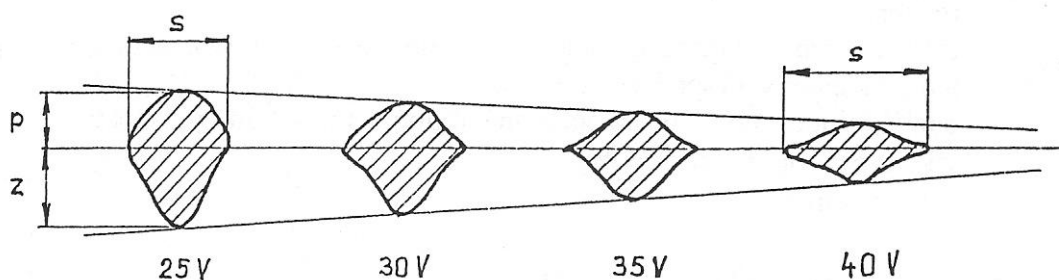
Napětí se může měnit pouze v omezeném rozsahu a má výrazný vliv na typ přenosu kovu v oblouku.

Vliv napětí na přenos s ohledem na použitý plyn je následující:

- rozsah napětí 14 až 21 V odpovídá zkratovému procesu v oxidu uhličitém i ve směsných plynech,
- při napětí nad 21V probíhá částečně bezzkratový proces,
- napětí mezi 22 až 27 V odpovídá bezzkratovému přenosu kovu ve směsi plynu a částečně zkratový přenos s velkými kapkami kovu u oxidu uhličitého,
- Při napětí nad 27 V probíhá ve směsi plynu sprchový přenos.

Nadměrně **vysoké napětí** zvyšuje délku oblouku a propal prvků, svary jsou náchylné na pórovitost a zvyšuje se rozstřík. Svarová lázeň je široká, mělká a vzniká nebezpečí předbíhání svarové lázně před oblouk. Obtížně se ovládá tavná lázeň v nucených polohách.

Nízké napětí bývá příčinou nestabilního procesu, úzkých housenek s velkým převýšením především při vysokých rychlostech svařování. Při nízkém napětí nedochází k dokonalému natavení svarových hran a při vícevrstvě svařování dochází k výskytu studených spojů.



Obr.8.16 Závislost tvaru svarové housenky na napětí s. – šířka housenky, p - převýšení z – hloubka závaru

8.9.2 Svařovací proud

Svařovací proud má na charakter přenosu kovu při svařování a tvar průřezu svarové housenky největší vliv obr. 8.17. S růstem proudu roste proudová hustota, velikost a tekutost svarové lázně, součinitel roztavení a odtavovací výkon.

Při konstantním napětí na oblouku nastává při zvyšování proudu výrazný růst hloubky závaru s relativně malým růstem šířky housenky i převýšení.

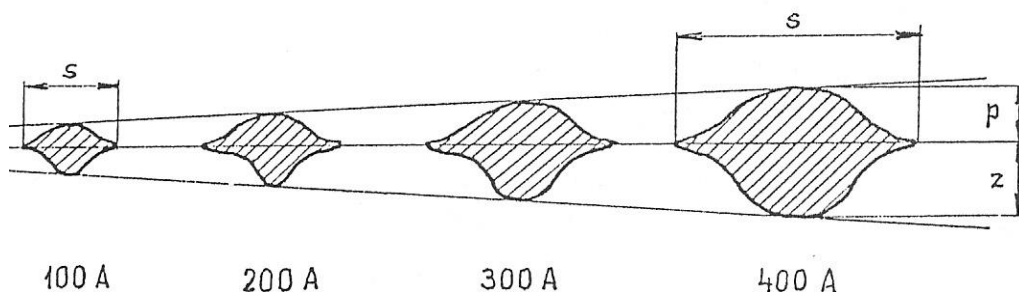
Svařovacím proudem se výrazně ovlivňuje charakter přenosu kovu v oblouku:

- růstem proudu roste frekvence kapek
- intenzita proudu podle složení ovlivňuje síly, které působí na kapky kovu
- růstem proudu se u běžných typů přenosů kovu zmenšuje objem kapek.

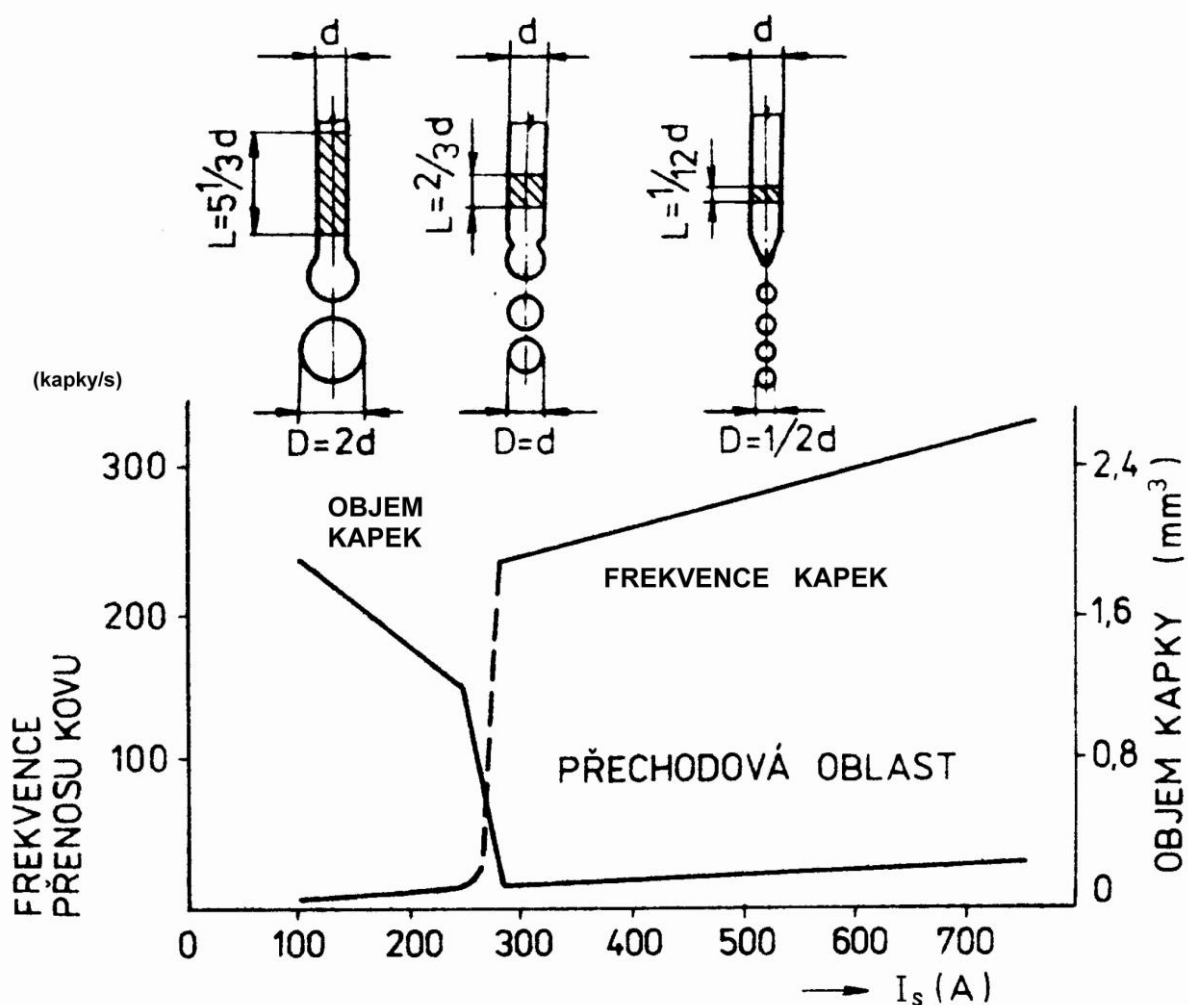
Předběžné nastavení proudu se před začátkem svařování provádí dle zkušeností nebo tabulky.

Orientační hodnoty pro nastavení svařovacích parametrů jsou uvedené v tab. 8.8.

Dle tabulky je vidět, že s růstem průměru roste také hodnota proudu. Z hlediska kvality svaru je výhodnější menší průměr drátu, poněvadž dává větší počet drobných kapek a kvalita povrchu svarové housenky je velmi dobrá. Z hlediska směrové stability výletu drátu a ekonomických nákladů je výhodnější větší průměr, protože z důvodu snížení počtu tahů je drát levnější. Toho lze využít u pulsního svařování, kde rozměr kapek je řízen vlastním procesem svařování.



Obr.8.17 Závislost tvaru svarové housenky na intenzitě proudu



Obr. 8.18 Vliv svařovacích parametrů na velikost kapky

8.9.3 Proudová hustota

Proudová hustota vyjadřuje proudové zatížení drátu s ohledem na jeho průřez. Udává se v

$A \cdot mm^{-2}$ a roste se zmenšováním průměru drátu. Vliv proudové hustoty na charakter svařování a tvar průřezu svarové housenky je podobný jako vliv proudu tzn. s růstem proudové hustoty při konstantním napětí roste hloubka závaru i výkon odtavení drátu. Při běžných způsobech svařování MIG/MAG se u drátů o průměru 0,8 až 1,2 mm proudová hustota pohybuje od $80 A \cdot mm^{-2}$ do $350 A \cdot mm^{-2}$, ale při svařování vysokovýkonnými metodami dosahuje až $600 A \cdot mm^{-2}$.

U plněných drátů dosahuje až trojnásobku proudové hustoty plného drátu stejného průměru.

8.9.4 Druh a polarita svařovacího proudu

Při svařování metodou MIG/MAG se nejčastěji používá **stejnoseměrný proud** a zapojení elektrody na kladném pólu zdroje, tzn. **nepřímá polarita**. Při tomto zapojení se tvar průřezu vyznačuje zvýšenou hloubkou závaru, malým převýšením a relativně širší housenkou.

Při zapojení elektrody na záporném pólu tzn. **přímá polarita** se hloubka závaru zmenšuje, stejně tak šířka housenky a převýšení roste. Těchto skutečností lze využít při navařování, kde je požadavek malého závaru a tím i zředění prioritní. Při přímé polaritě se však u plného průřezu drátu tvoří na konci drátu rozměrná a stabilní kapka, což se projeví zvýšeným rozstříkem.

Přímá polarita elektrody se s výhodou používá u plněných drátů. Někteří výrobci doporučují použití přímé polaritě pro dráty plněné kyselou, rutilovou ale i bazickou náplní a kovem plněné dráty, především pro speciální aplikace při mechanizované svařování v úzkém úkosu.

Na stabilitě procesu se podílí především dynamické síly oblouku.

8.9.5 Volná délka drátu – výběh drátu (výlet drátu)

Volná délka drátu se měří od konce kontaktního proudového průvlaku po oblouk a obecně platí, že je rovná desetinásobku průměru drátu. Na skutečnou délku výběhu drátu má vliv více podmínek svařování – typ přenosu kovu a použitý ochranný plyn.

Přesnější hodnoty lze určit ze vztahů:

$L = 5 + 5 \cdot d$ pro oxid uhličitý

$L = 7 + 5 \cdot d$ pro směsné plyny, kde d je průměr drátu.

Se změnou vzdáleností kontaktní špičky a svařovaného materiálu se mění řada parametrů svařování. Významná je změna proudu, který klesá se zvyšující se vzdáleností špičky od materiálu a důsledkem tohoto poklesu je menší průvar. Snížení proudu je způsobeno odporovým ohřevem drátu a představuje přibližně 10 až 20 A na 1 mm změny délky výběhu drátu. Celková změna intenzity proudu může být až 80A proti nastavené hodnotě.

Tabulka 8.9 Orientační hodnoty parametrů svařování pro metodu MAG na ocel.

Typ svaru	Tloušťka plechu	Průměr elektrody	Výkon navaření	Rychlost posuvu drátu	Svařovací proud	Rychlost svařování
	mm	mm	kg.h ⁻¹	m.min ⁻¹	A	cm .min ⁻¹
I svar	1	0,6	1,0	7,0	60	83
	1,5	0,8	1,2	6,0	90	80
	2	0,8	1,5	6,8	110	83
	3	0,8	1,8	8,0	125	55
	3	1,0	2,1	6,0	150	63
V svar	4	1,0	2,2	6,4	160	40
	5	1,0	2,2	6,4	160	28
	6	1,0/1,0	2,1/2,9	6,8/8,5	150/200	60/43
	8	1,0/1,2	2,1/3,9	6,0/7,6	150/260	43/28
	10	1,0/1,2	2,1/5,1	6,0/10,0	150/320	35/21
koutový svar	2	0,6	1,2	8,4	70	40
	2	0,8	1,6	6,8	110	53
	3	0,8	1,9	8,3	130	32
	3	1,0	2,4	7,0	170	40
	4	1,0	2,7	8,2	190	28
	5	1,2	3,9	7,8	260	26
	6	1,2	3,9	7,8	260	20
	6	1,2	4,8	9,5	300	22
	8	1,2	4,8	9,5	300	14

8.10 TECHNIKA SVAŘOVÁNÍ MIG/ MAG METODOU

Svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí

Pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí lze v závislosti na tloušťce materiálu a poloze svařování použít všechny typy přenosů kovu obloukem. Jako ochranná atmosféra je v dnešní době pravděpodobně nejvíce používaný směsný plyn Ar + 15 až 20% CO₂.

Při ručním vedení hořáku můžeme svařovat směrem dopředu nebo dozadu a při mechanizovaném svařování bývá hořák obvykle v kolmé poloze k rovině svaru.

Při vedení hořáku na robotizovaných pracovištích se úhel sklonu hořáku řídí přístupností koncového členu robota ke svařenci. Drátová elektroda musí být přiváděna na začátek svarové lázně z důvodu zajištění hlubokého průvaru a omezení rozstříku. Tento požadavek je důležitější u svařování koutových svarů.

Kořenové svarové housenky se svařují s přímým vedením hořáku a výplňové svarové housenky můžeme svařovat s příčným nebo i podélným rozkyvem hořáku. Při rozkyvu hořáku roste velikost tavné lázně, zlepšuje se odplynění svaru, ale zvyšuje se množství vneseného tepla do svaru a tím i související důsledky.

Technika svařovacího procesu

Sklon hořáku a jeho vedení

Svařování dopředu dle obr.8.19 a) má tyto charakteristiky:

1. dokonalý výhled do úkosu
2. dobré ovládání tekuté lázně v kořeni svaru
3. hubice zakrývá výhled na housenku
4. dokonalý předeřev svarových ploch
5. větší šířka housenky
6. přibližně o 20 % menší hloubka závaru
7. nižší převýšení
8. vysoká rychlost tuhnutí někdy způsobuje pórovitost
9. nebezpečí předbíhání svarové lázně a tím vzniku studeného spoje

Oblasti použití :

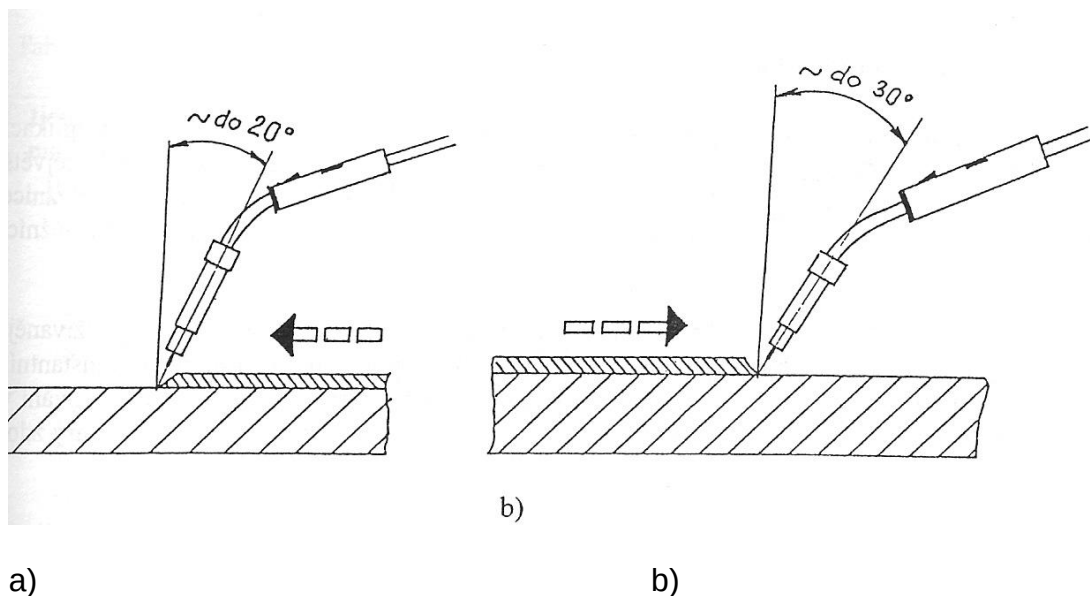
- svařování tenkých plechů
- svařování kořenů svarů
- běžné svářečské práce

Svařování dozadu dle obr.8.19 b) má tyto výhody:

1. stabilnější elektrický oblouk
2. hubice zakrývá výhled do úkosu
3. svarová housenka je užší
4. větší převýšení a hloubka závaru
5. hrubší povrch housenky
6. svarová lázeň je déle tekutá – menší pórovitost
7. studené spoje a neprůvary se nevyskytují

Oblasti použití :

- krycí vrstvy tupých svarů
- větší tloušťky materiálu
- nevhodné pro kořen svaru- nebezpečí propadnutí svarové lázně
- při koutovém svaru se vyskytuje velké převýšení a vruby



8.19 Technika svařování dopředu a) svařování dozadu b).

Svařování vysokolegovaných ocelí a materiálů na bázi niklu

Korozivzdorné a kyselinovzdorné oceli mají díky svým legujícím prvkům (především Cr) značně hustou tavnou lázeň, která vytváří nežádoucí převýšení svaru a ostrý přechod svarové housenky do základního materiálu. Z těchto důvodů se doporučuje použít ochranný plyn obsahující malé procento kyslíku. Kyslík výrazně snižuje povrchové napětí a tím vytváří příznivější průřez svarové housenky, zlepšuje odplynění svarové lázně a přechod na základní materiál.

Plyny doporučené pro svařování vysokolegovaných ocelí:

- **Argon + 2% oxidu uhličitého**

Směs doporučená pro všechny druhy vysokolegovaných ocelí, kromě zvlášť nízkouhlíkových. Vhodný plyn pro krátký zkratový oblouk s nízkým propalem, dobrým smáčením svarového úkosu a malým rozstříkem.

- **Argon + 2% kyslíku**

Doporučuje se z hlediska propalu svařovat zkratovým přenosem malými kapkami a plyn je vhodný i pro sprchový nebo impulsní přenos kovu.

- **Ar + 30 až 50% He +1 až 2% O₂.**

Směs vhodná pro mechanizované a robotizované svařování. Plyn umožňuje stabilní hoření oblouku při zkratovém i sprchovém přenosu, velmi příznivý profil svaru a vysoký odtavovací výkon bez nebezpečí nauhličení svarové lázně.

Při svařování se hořák vede vpřed pod úhlem cca 10° a doporučuje se využít především impulsního způsobu svařování. Svařovat se dá také zkratovým a sprchovým přenosem. Na rozdíl od nelegovaných ocelí začíná oblouk se sprchovým přenosem již při proudu o přibližně 20% nižším.

Při svařování vysokolegovaných ocelí a niklu je nutné omezit množství vneseného tepla do svaru. Elektrický oblouk musí být veden zcela vpředu u tavné lázně. Předbíhání svarového kovu má za následek výraznou tvorbu rozstříku – především u materiálů obsahující nikel.



Obr. 8.20 ukázka aplikací svařování vysokolegovaných ocelí

Svařování hliníku a jeho slitin

Svařování hliníku metodou MIG je technologie s vysokou rychlostí růstu aplikací. Stále více jsou využívány výhody hliníku a jeho slitin ve stavbě letadel, lodí (např. největší celohliníkový trajekt je dlouhý 124 m a široký 40 m), kolejových vozidel pro železnice, tramvaje i podzemní dráhy, karoserií osobních automobilů, budov, obydlí na těžních plošinách atd.

Metoda MIG je při svařování rozměrných hliníkových svařenců nejpoužívanější technologie spojování. Svařuje se v ochranné atmosféře inertních plynů, pulsním nebo konstantním proudem. Vysoká tepelná vodivost zajišťuje rychlé tuhnutí taveniny a umožňuje svařování ve všech polohách. Hořák vedeme vpřed přímočaře, nebo s mírným rozkyvem, svislé svary zdola nahoru.

Plynovou ochranu tvoří především argon, ale z hlediska jeho špatné tepelné vodivosti jsou výhodnější kombinace argonu a helia.

Směs Ar- He se používá všude tam, kde jsou zvýšené požadavky na bezpečné snížení pórů a studených spojů. Při svařování větších tloušťek lze snížit nebo odstranit přehřev.

Využitím helia se zvýší také rychlost svařování a tvar závaru je kulatější a hlubší než při použití čistého argonu. Helium však vyžaduje zvýšit napětí oblouku o 2 až 6 V a z důvodu nízké měrné hmotnosti i průtok plynu..

Spotřeba ochranného plynu – argonu:

zkratový svařovací oblouk 12 – 15 l/min

sprchový svařovací oblouk 15 – 20 l/min

Při použití směsí plynů Ar a He je nutno zvýšit průtok dle jejich poměru:

Plyn	korekční faktor	minimální množství ochr. plynu
Ar + 30 % He	1,17	20 l/min
Ar + 50 % He	1,35	28 l/min
Ar + 70 % He	1,70	35 l/min
100% He	3,15	40 l/min

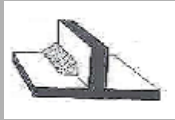
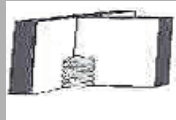
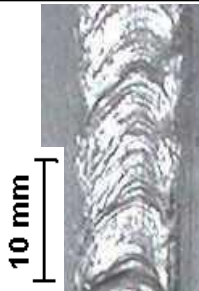
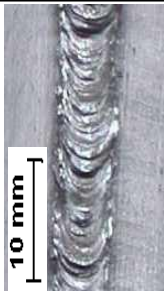
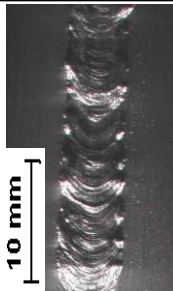
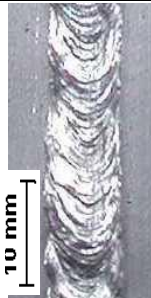
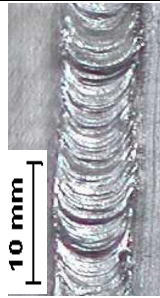
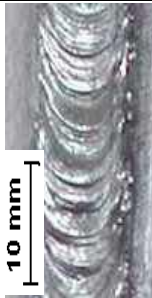
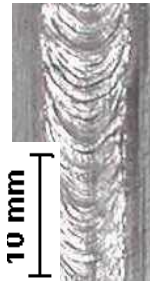
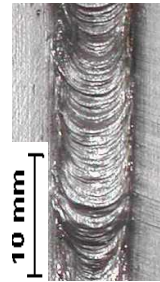
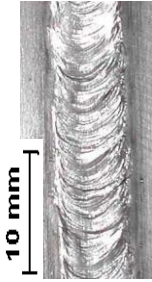
Svařovací zdroje by měly být vybaveny funkcí horkého startu pro snadnější natavení materiálu na začátku svaru a postupným snižování proudu při ukončení svaru pro vyplnění koncového kráteru. Podavače se doporučují čtyřkladkové, s oválnými drážkami v podávacích kladkách a bowdeny pro vedení drátové elektrody k hořáku musí mít teflonovou vložku. Pro svařování s delším hořákovým kabelem jak 2,5 m se doporučuje použít systém PUSH – PULL.

Tab. 8.10 Orientační parametry pro svařování hliníku s argonovou ochranou oblouku.

tloušťka materiálu [mm]	tvar svarového o úkosu	průměr drátu [mm]	svařovací proud [A]	rychlost svařování [cm/min]	spotřeba argonu [l/min]	počet vrstev
2	I	0,8	110	80	12	1
3	I	1,0	130	75	12	1
4	I	1,2	160	70	15	1
5	I	1,2	180	70	15	1
6	I	1,6	200	65	15	1
8	V	1,6	240	60	16	2
10	V	1,6	260	60	16	2
12	V	1,6	280	55	18	2
16	V	1,6	300	50	20	3
20	V	1,6	320	50	20	3

Obr. 8.21 Svařovaný trup celohliníkové jachty



			
Argon 4.6			
HELISTAR HE-30			
HELISTAR HE-50			



Obr. 8.22 V horní části vliv ochranného plynu na povrch svaru, dole hliníkový trup osobní námořní lodi

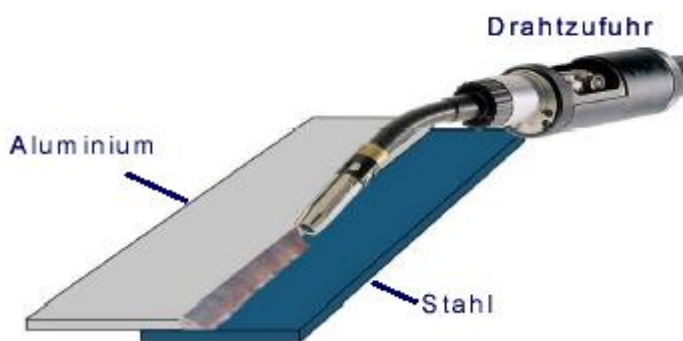
8.11 SPECIÁLNÍ TECHNIKY SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

8.11.1 CTM – COLD METAL TRANSFER – proces svařování MIG/MAG krátkým zkratovým obloukem.

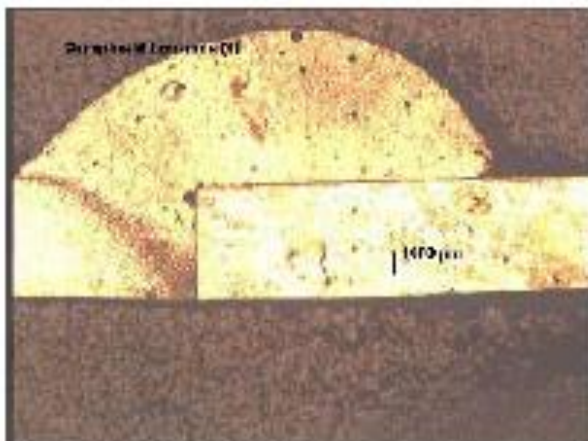
Tato nová modifikace svařování [CMT](#) tavící se elektrodou v ochranné atmosféře kombinuje horkou fázi hoření oblouku, kdy se taví drát i ZM se studenou částí procesu, kdy po kontaktu nataveného drátu s tavnou lázní se snižuje intenzita proudu a drát se vrací do hubice. Tím je podpořeno oddělení kapky bez rozstříku a s nízkou hodnotou vneseného tepla do svaru. Celý proces je digitálně řízený a zpětný pohyb drátu probíhá až 70 x za sekundu. Procesor se zpětnou vazbou udržuje konstantní [vzdálenost](#) i rozměr housenky bez ohledu na [podmínky svařování](#). Pro vyrovnaní pohybu drátu je do bowdenu zařazen tzv. pufrovací člen. CTM umožňuje zajistit požadavek nízkého tepelného zatížení, dobré přemostitelnosti spáry a co možná nejmenší tepelné deformace (zejména při spojování hliníku a ušlechtilých ocelí), tak aby se vyloučily nároky na následné opracování. Stále výrazněji vystupují do popředí také kombinované konstrukce především v automobilovém průmyslu.

Požadavky, které klade průmysl na spojovací technologie jsou stále náročnější. Stále vyšší nároky v oboru termického spojování jsou kladeny především na oblast tenkých plechů (< 2mm).

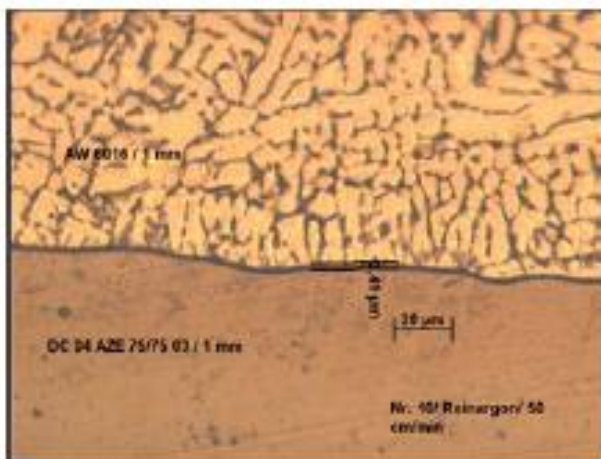
Proces CTM umožňuje například spojovat automatizovaným procesem, bez podložky a na tupo, tenké hliníkové plechy (0,8 mm) svařovacími rychlostmi kolem 2 m/min. Tento proces je zajímavý rovněž v oboru mechanizovaného nebo [robotizovaného](#) spojování plechů z ušlechtilých ocelí o tloušťkách do 1,5 mm, kde nabízí značné možnosti pro automatizaci, jak v důsledku nízkého tepelného zatížení z hlediska metalurgie, tak v důsledku výborné stability oblouku také hledisko spolehlivosti pracovního procesu. MIG procesem je možné realizovat pájené spoje pozinkovaných plechů, které se často využívají v automobilovém průmyslu, s minimálním rozstříkem (a tedy prakticky bez nutnosti následného opracování), prováděné rychlostí až 1,5 m/min.



Obr. 8.23 Princip spojování CTM



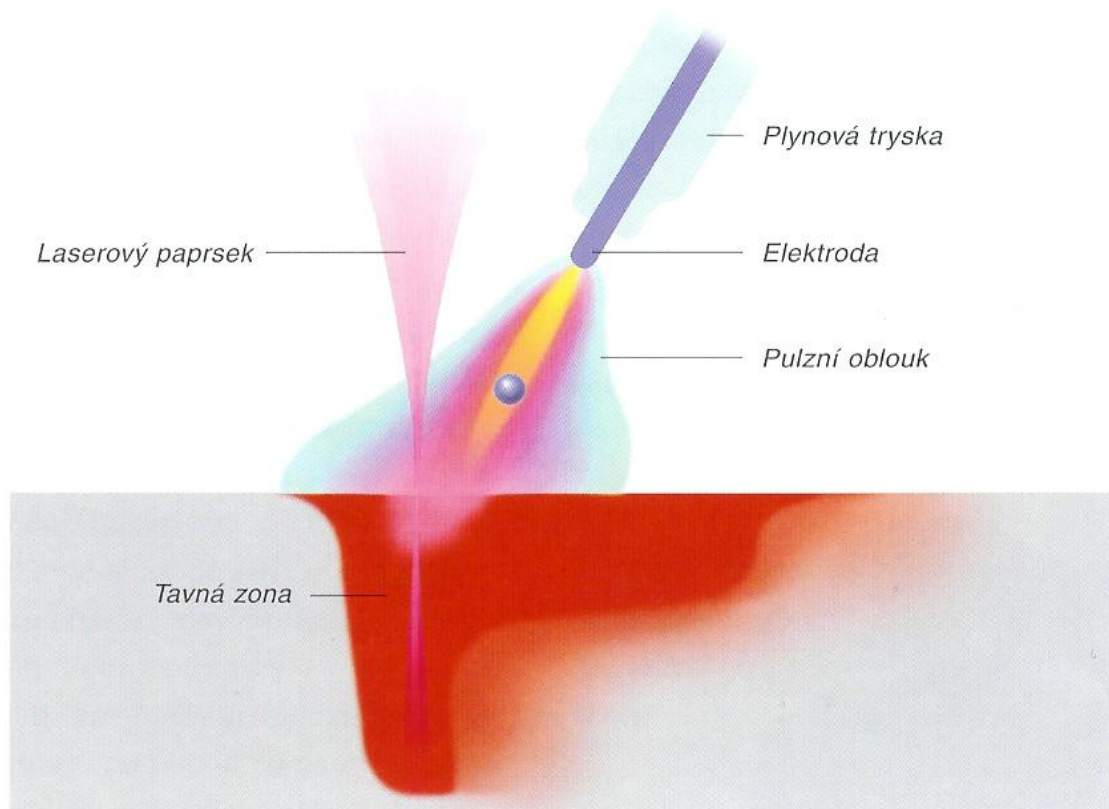
Obr. 8.24 Ukázka spojení CMT na straně hliníku plné natavení svarového kovu, na straně oceli pájený spoj bez natavení ZM



Obr. 8.25 Rozhraní mezi slitinou hliníku – nahoře a ocelí s povlakem zinku

8.11.2 KOMBINACE MIG/MAG A LASEROVÉHO SVAŘOVÁNÍ – METODA LASERHYBRID

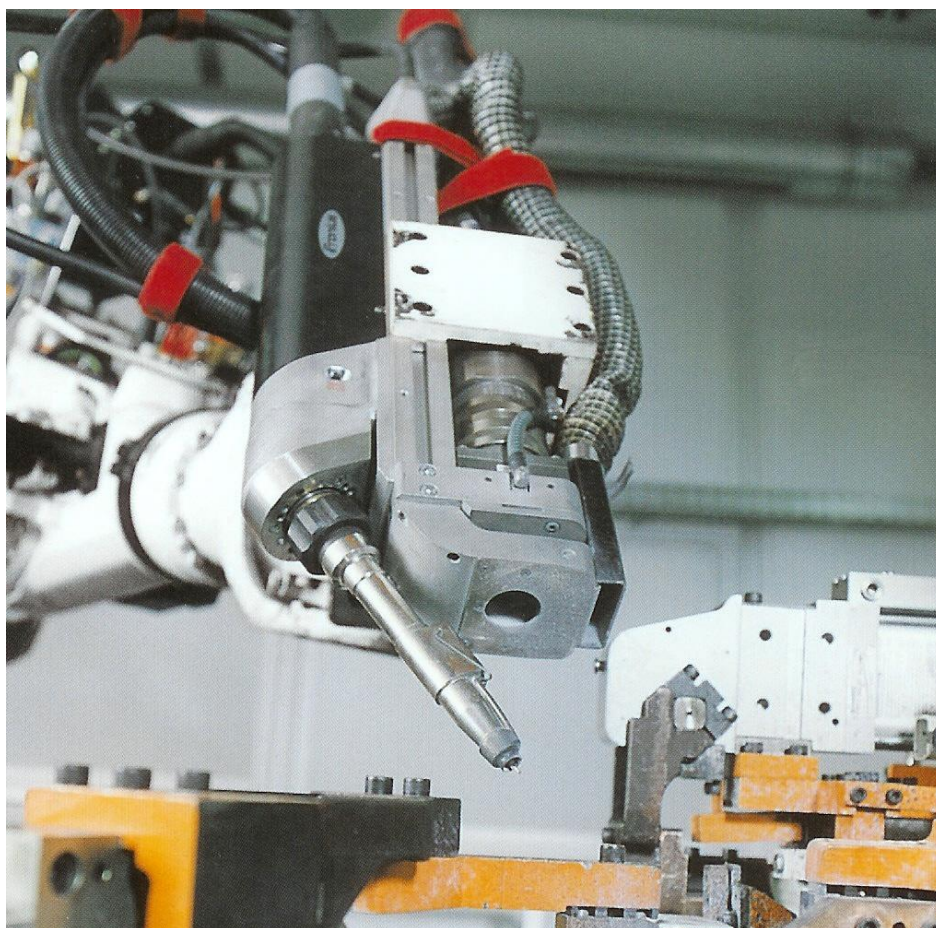
Princip využívá výhod obou technologií: vysoké rychlosti tavení a hluboké tavné lázně u laseru, spolu s podáváním a pulzním tavením drátové elektrody u MIG metody.



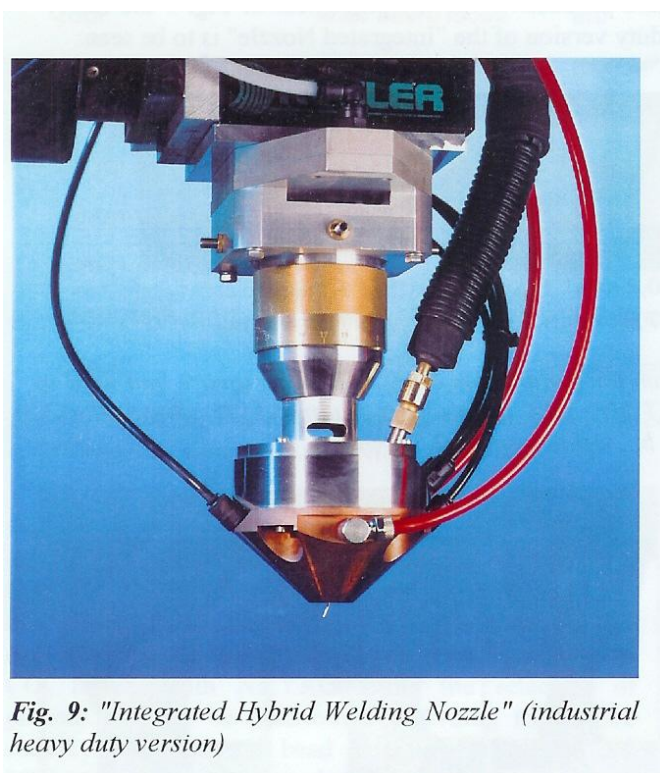
Obr. 8.26 princip svařování metodou LASERHYBRID

Laserový paprsek a elektrický oblouk působí v jedné svařovací zóně a vzájemně se podporují. Rychlost svařování až $9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ zajišťuje minimální vnesené teplo do svaru. Výhoda je také úspora přídavného materiálu cca 1/2 a zlepšená přemostitelnost mezer při vysoké rychlosti svařování. Svary se vyznačují vysokou pevností a velmi dobrou povrchovou kresbou.

Proces se využívá pro spojování hliníkových konstrukcí, především karoserií automobilů, v oblasti letecké techniky a ve stavbě lodí. Dále lze svařovat vysokolegované i nelegované povlakované oceli.



Obr. 8.27 Svařovací hlava LASERHYBRID nesená robotem.



Obr. 8.28 Stabilní verze hlavy LASERHYBRIB

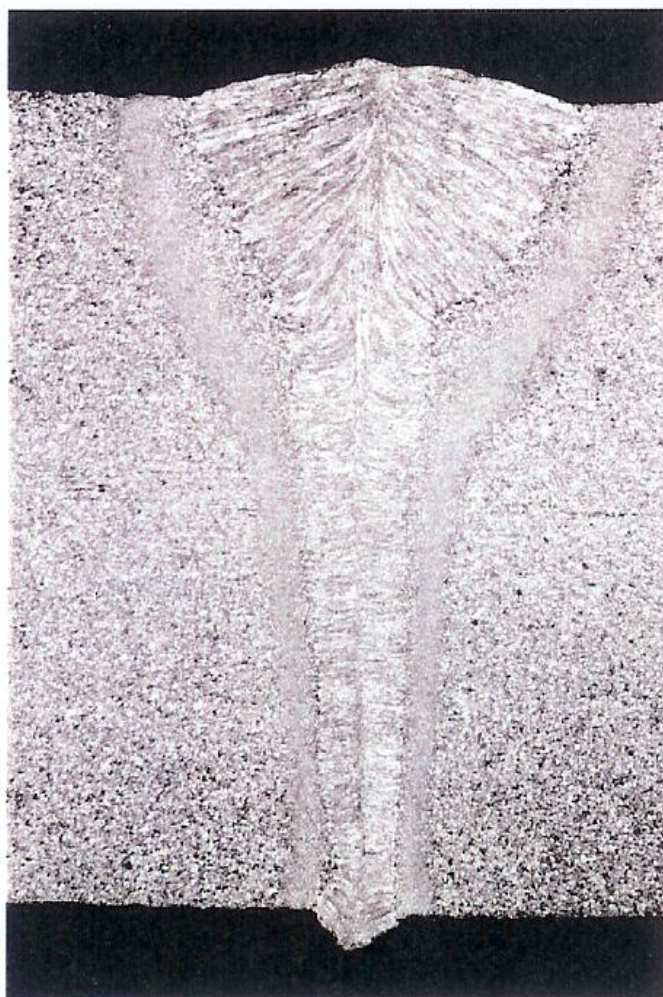


Fig. 8: Hybrid welding of mild steel S355NL, 15 mm thickness (single-pass), edge preparation 6° single-V groove: CO₂ laser 15.5 kW, MIG impulse arc leading, filler wire G3Si1, diameter 1.2 mm, assist gas: argon-helium mixture, welding speed: 1.2 m/min.

Obr. 8.29 Svařování metodou LASERHYBRID uhlíkové oceli tl 15mm, laserem CO₂ o výkonu 15,5 kW, MIG pulsní svařování drátem průměru 1,2 mm, ve směsi Ar-He, rychlostí svařování 1,2 m.min⁻¹

8.11.3 SVAŘOVÁNÍ PLNĚNÝM DRÁTEM BEZ OCHRANNÉ ATMOSFÉRY – PROCES INNERSCHIELD

Proces INNERSCHIELD v sobě slučuje principy dvou metod – ručního svařování obalenou elektrodou MMA a metody MIG/MAG. Sloučení technologií se projevuje především ve výhodách obou metod. Na straně MMA je to operativnost, mobilita a odolnost proti povětrnostním podmínkám a na straně MIG/MAG metody vysoká produktivita práce dána vysokým výkonem navaření. Základním principem metody INNERSCHIELD obr. 8.30 je plněný drát u kterého je tavidlo uloženo uvnitř trubičkové elektrody. Při tavení elektrody v oblouku vytváří tavidlová náplň ochranu svarové lázně i kapek kovu především tvorbou ochranného plynu, kovových par a tvorbou strusky.

Ochranný plyn CO_2 se ve velké míře uvolňuje při tepelném rozkladu uhličitanu vápenatého CaCO_3 obsaženého v náplni trubičky. Tvorba kovových par je zajištěna přísadami Al, Mg nebo Li. Tyto prvky se odpařují již při teplotě $1000\text{ }^\circ\text{C}$ a slučují se s dusíkem a kyslíkem z okolního vzduchu. Vázáním těchto prvků se zejména snižuje přítomnost dusíku v přechodovém pásmu svaru a snižuje se vznik trhlin za tepla i za studena.

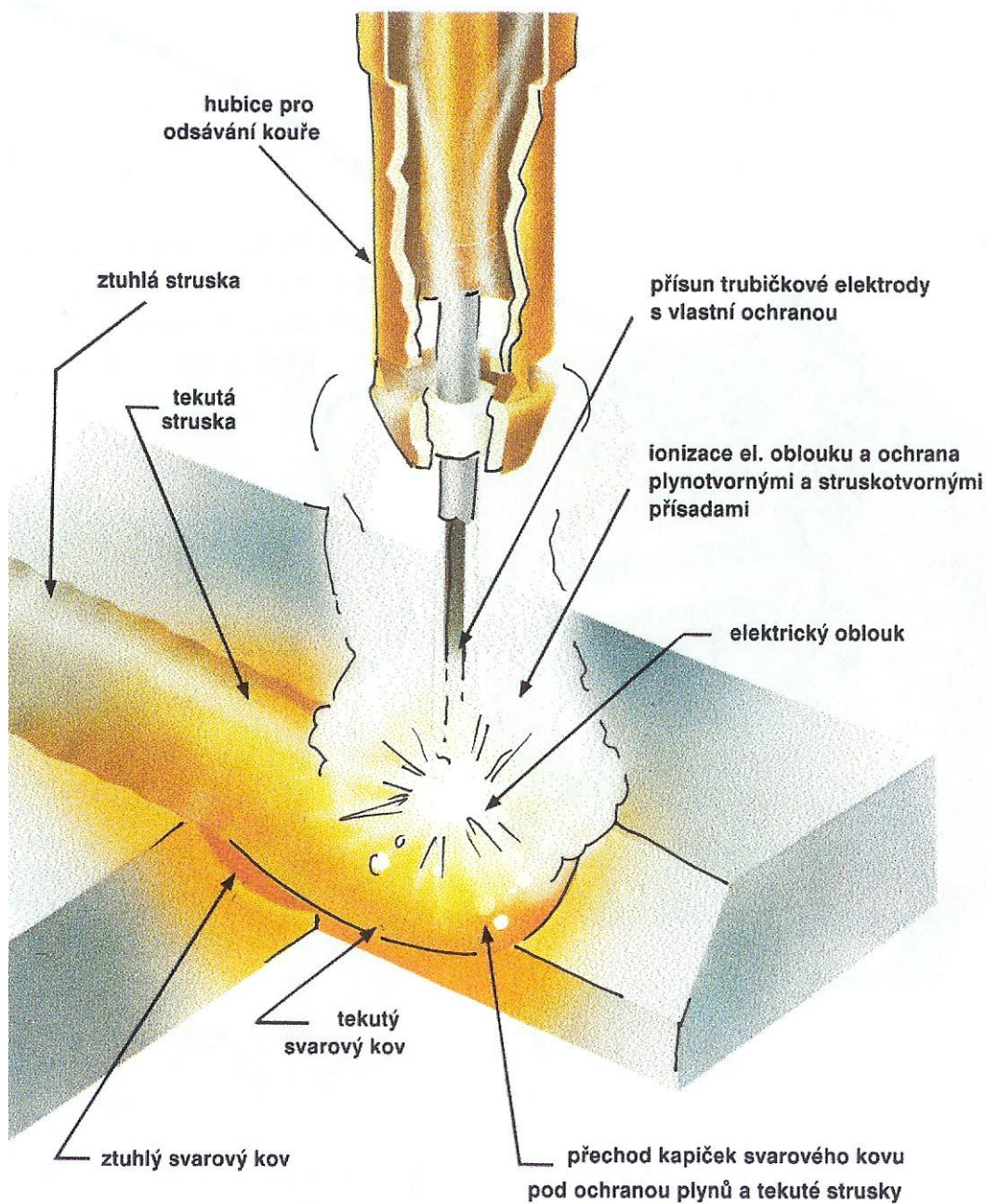
Struskotvorné přísady obalují kapky kovu tenkou vrstvou tekuté strusky a chrání ji při přenosu kovu obloukem. Tekutá struska chrání svarovou lázeň před účinky atmosféry a má stejné funkce jako struska z obalu elektrody při svařování obalenou elektrodou. Plněné dráty pro metodu INNERSCHIELD mají průměr od 0,9 do 3,0 mm. Dle typu elektrody lze zvýšit výkon navaření až 4 krát ve srovnání s obalenou elektrodou a ochrana lázně proti účinkům atmosféry je zajištěna až do rychlosti větru až $50\text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$. Lze svařovat ve všech polohách a díky nízké teplotě tavení strusky většinou není nutné čistit svarový kov mezi jednotlivými vrstvami svarového spoje.

Metoda INNERSCHIELD se používá v těchto aplikacích:

- stavba mostních konstrukcí, lodních trupů, budov, těžních zařízení, těžkých a rozměrných strojů,
- svařování kolejnic, potrubí, produktovodů a obtížně svařitelných materiálů.

8.11.4 SVAŘOVÁNÍ METODOU STT – SURFACE TENSION TRANSFER

Svařování STT lze volně přeložit jako svařování s přenosem kovu řízeným povrchovým napětím. Jedná se o plně řízený proces se zpětnou vazbou, kde řídicí systém zdroje proudu výrazně mění parametry svařování řádově v mikrosekundách. Unikátní kontrola svařovacího procesu vychází ze snímání změny napětí v čase zvláštní externě připojenou sondou tzv. **detektorem dV/dt** . Detektor dV/dt snímá změny napětí v závislosti na změně odporu při zaškrcování krčku odtavující se kapky.



Obr.8.30 princip metody INNERSCHIELD

Vlastní nastavení procesu spočívá v určení hodnoty základního proudu v rozsahu 50 až max. 120 A, intenzity horního proudu do hodnoty 450 A, druhu svařovaného materiálu a průměru elektrody.

Vlastní proces přenosu kovu je zobrazen na obr. 8.31 a je popsán následovně:

T 1 - Oblouk hoří na nastavené spodní úrovni svařovacího proudu obvykle 50 až 100A.

Tento rozsah je dostatečný pro udržení stabilního oblouku a nad hodnotu 120 A roste rozstřík.

T 2 - V okamžiku zkratu detektor dV/dt signalizuje pokles napětí – oblouk je zkratován.

řídící elektronika redukuje proud na 10 A v čase 0,75 milisekund.

T 3 - Oblast nárůstu proudu při zkratu podobně jako u konvenčního zkratového přenosu.

Pracovní napětí klesá vlivem odporu roztaveného kovu krčku téměř na nulu.

T 4 - V průběhu zaškrcování krčku je sledována hodnota specifického přírůstu hodnoty dV/dt a téměř před oddělením kapky je proud na dobu několika milisekund snížen na hodnotu 50 A.

Oddělení kapky tedy probíhá při tomto nízkém proudu, který vylučuje vznik rozstříku.

T 5 - Po oddělení kapky je proud zvýšen na horní úroveň nastaveného proudu 350 až 450 A potřebného pro vznik oblouku a nárůstu ionizovaného plazmového prostředí oblouku. Tento nárůst proudu je dostatečný pro natavení svarové lázně a drátové elektrody.

T 6 – T 7 Po dostatečném ohřevu je s regulovanou strmostí sestupné křivky snížen proud na základní úroveň max. 120 A a celý cyklus se opakuje.

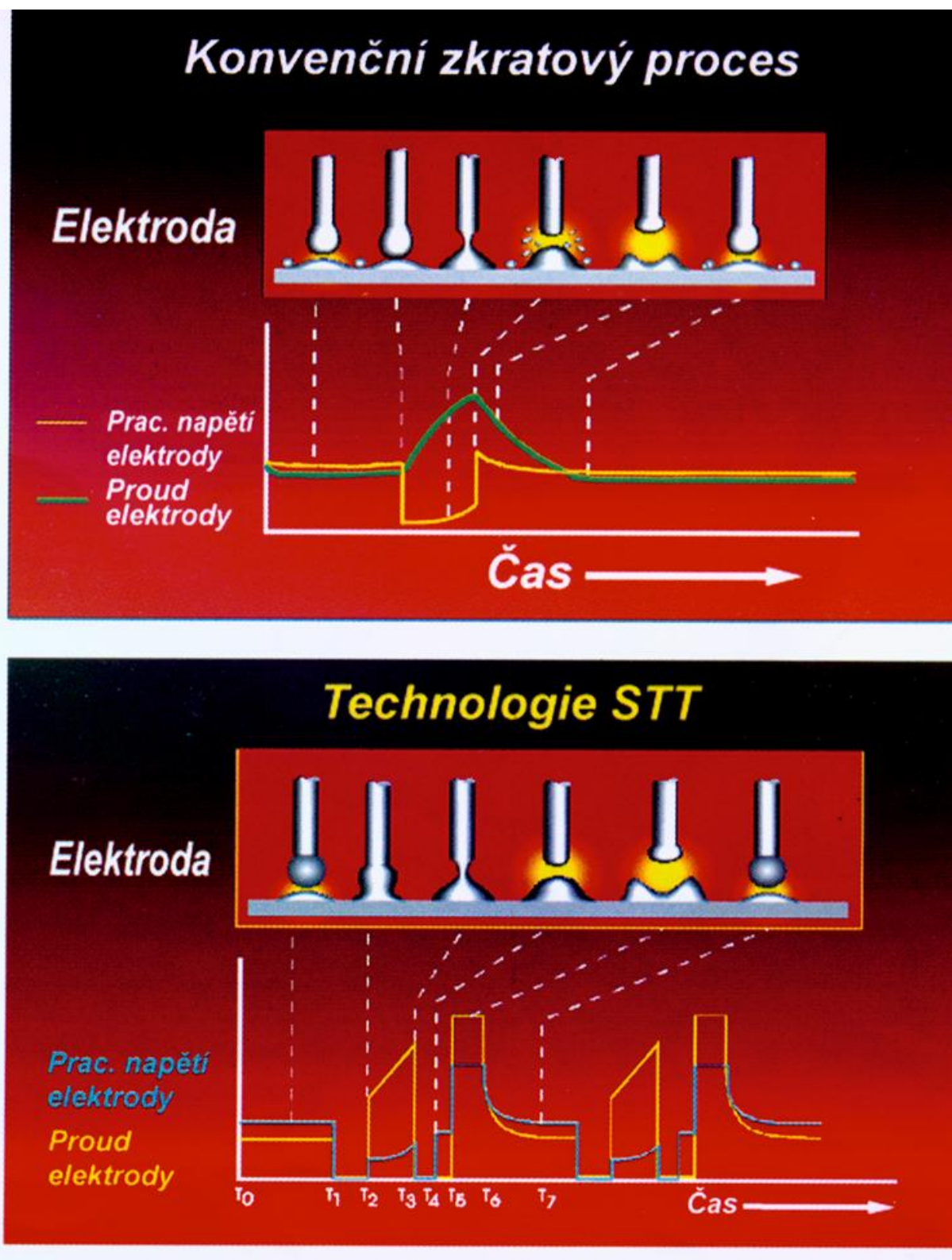
V současné době dodává firma LINCOL-ELECTRIC, která zavedla metodu STT do praxe, softwarové vybavení umožňující ovládat a nastavit svařovací parametry každého úseku procesu podle okamžité potřeby (zohlednění chemického složení drátů, plynů, svařovací polohy atd.).

Výhody procesu STT:

- procesorem plně řízený svařovací proces,
- možnost použití oxidu uhličitého i směsných plynů,
- nízká hodnota vneseného tepla,
- minimální rozstřík,
- velmi dobrý vzhled svaru,
- vysoká účinnost procesu,
- jednoduché nastavování svařovacích parametrů,
- malé množství škodlivých zplodin v průběhu svařování.

Využití nové technologie svařování STT :

- a) svařování nelegovaných, nízkolegovaných vysokolegovaných i galvanicky pokovených ocelí s minimálním vneseným teplem a bez rozstříku,
- b) svařování kořenové housenky a velkých mezer (např. spára 12 mm na 3mm tlustém plechu) i technikou shora dolů,
- c) navařování tvrdonávarů na plochy i hrany s minimálním promísením v první vrstvě.



Obr. 8.31 Průběh svařovacího proudu a napětí při STT svařování.

8.11.5 VYSOKOVÝKONNÉ METODY SVAŘOVÁNÍ

Vysokovýkonné metody svařování MIG/MAG můžeme u různých firem nalézt pod různými názvy. např. **Rapid Melt**, **T.I.M.E.** proces (zkratka **Transferred Ionized Molten Energy**). Při těchto procesech se svařuje s vysokým proudem od 450 do 800 A a vysokým napětím 45 až 60 V . Posuv drátu při těchto metodách se pohybuje mezi 20 až 50 m.min⁻¹ a výkony navaření 10 až 25 kg. hod⁻¹. Přenos kovu odráží vysoké proudové zatížení a byl popsán v kap. 9.3. Při vysokovýkonných metodách se používá plynová ochrana A + 8% CO₂, nebo u T.I.M.E. procesu čtyřkomponentní plyn Ar + 26% He + 8% CO₂ + 0,5 % O₂. vysokovýkonné metod je možné použít jen pro [robotizované](#) nebo mechanizované svařování.

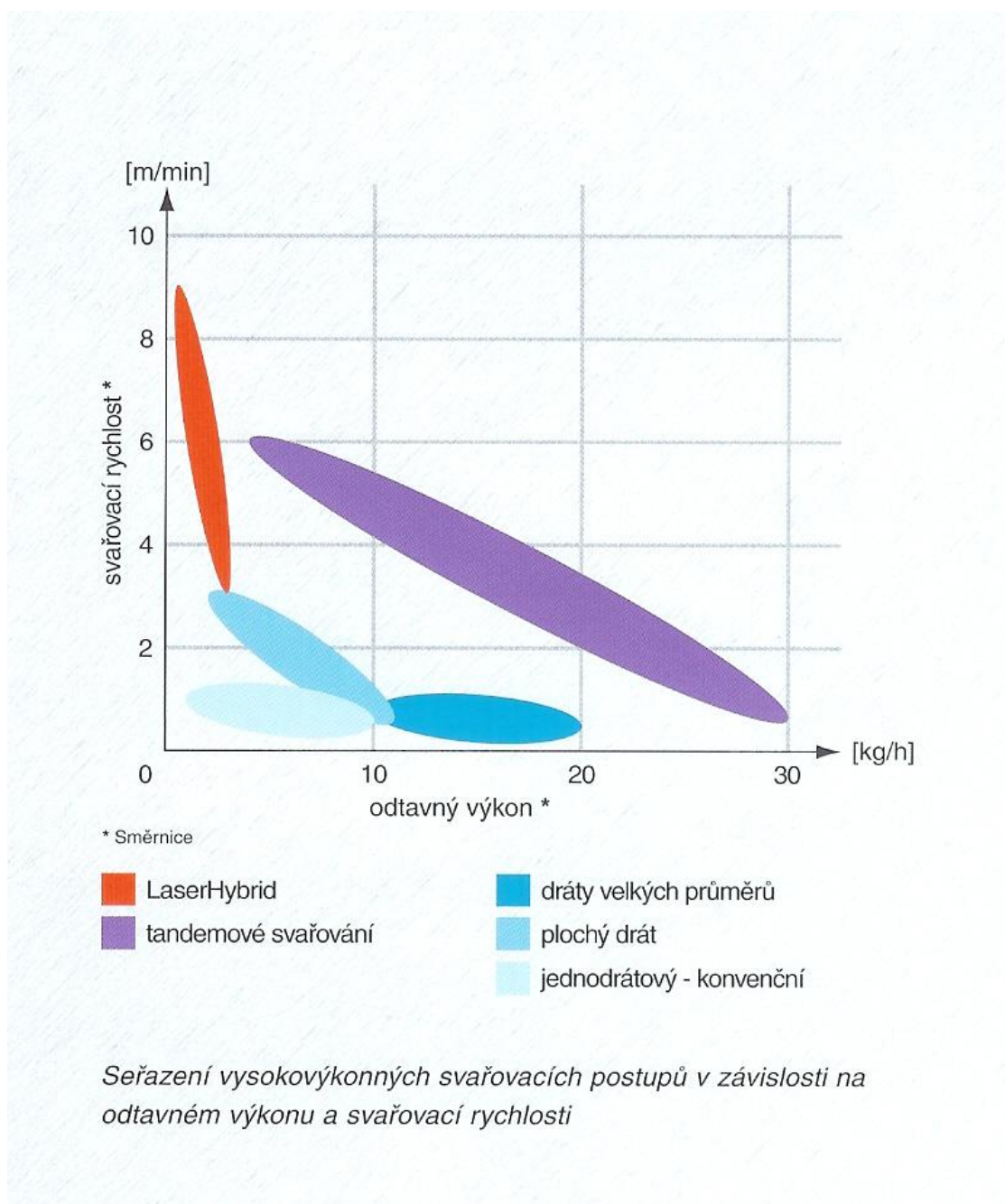
8.11.6 AUTOMATICKÉ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉŘE DO ÚZKÉHO ÚKOSU

Tato technika svařování v ochranných plynech je velmi podobná svařování do úzkého úkosu pod tavidlem, ale místo tavidla je použito ochranného plynu. Svařuje se jedním, nebo dvěma hořáky, které přivádějí drát k jedné vnitřní boční hraně svařovacího úkosu. Svary se navařují vertikálně v ochranné atmosféře CO₂, nebo směsného plynu a je možné použít i keramické, kovové, případně tavidlové podložky. Lze svařovat i úkos šířky 8 mm při tloušťce materiálu až 300mm (metoda NOW) např. při svařování kolejnic.

Hlavní výhody jsou: zvýšení produktivity práce, snížení množství navařeného kovu, snížení zbytkových napětí a deformace ve svarech. Tato technika se využívá pro svařování velkých tloušťek především uhlíkových ocelí a vysokolegovaných materiálů.

8.11.7 TANDEMOVÉ SVAŘOVÁNÍ - DVOUDRÁT TAVENÝ V JEDNÉ TAVNÉ LÁZNI

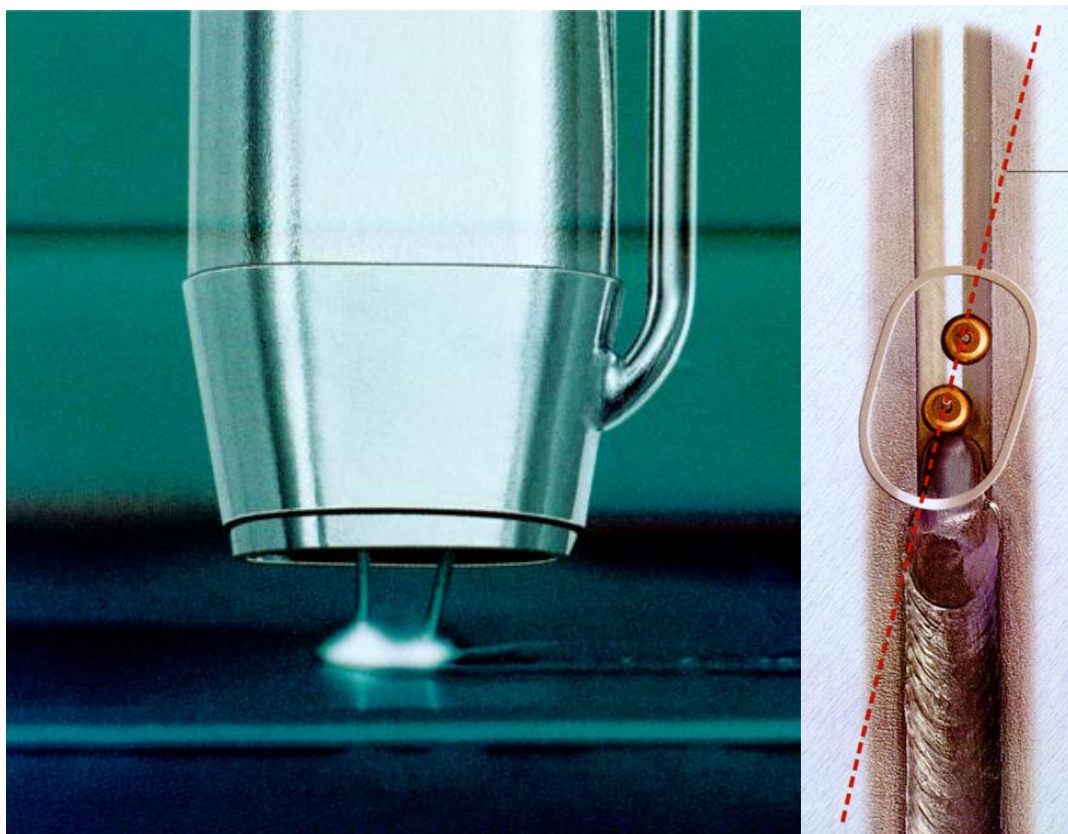
Tento moderní způsob mechanizovaného svařování využívá [dvě drátové elektrody](#), které jsou umístěné v jedné plynové hubici obr. 9.33. Drátové elektrody jsou vzájemně izolované a jsou napájené dvěma řízenými zdroji řízenými jedním řídicím systémem. Svařuje se impulsním proudem a jedna elektroda má časově posunutý počátek nárůstu proudu v pulsu. Odtavování kapky na jedné elektrodě tedy probíhá v době kdy na druhé elektrodě je svařovací proud na základní úrovni. Na přední elektrodě se obvykle nastavuje vyšší výkon, kterým je zajištěno dokonalé natavení studeného základního materiálu a provaření kořene.



Obr.8.32 Srovnání výkonu navaření jednotlivých metod svařování MAG

Přídavný materiál z druhé elektrody lázeň vyplní a svařovací oblouk prodlouží dobu krystalizace tavné lázně. Delší dobou tuhnutí se zajistí dokonalejší odplynění tavné lázně a omezí sklon k trhlinám. Celkový proud napájející oba dráty dosahuje až 900 A a rychlost svařování se pohybuje mezi 70 až 200 cm. min⁻¹.

Využití tandemového svařování: - svařování hliníku vysokými rychlostmi, stavba skříní kolejových vozidel, trupů lodí, disků kol automobilů, jeřábů stavebních konstrukcí atd. Tato technika svařování je používána i na [robotizovaných pracovištích \(Closs, Fronius atd.\)](#)



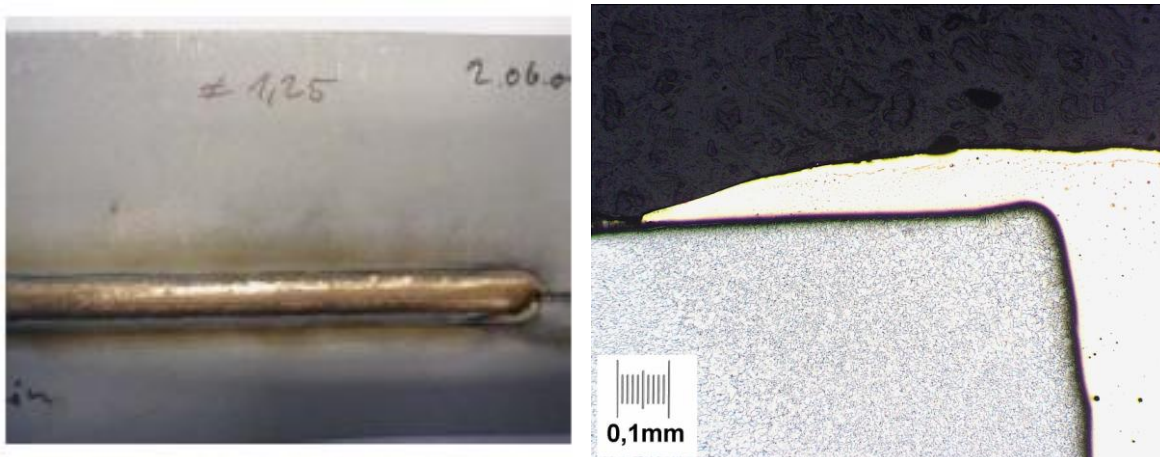
Obr.8.33 Tandemové svařování MIG/MAG a poloha hořáku ve svarovém úkosu

8.11.8 MIG – pájení pozinkovaných plechů

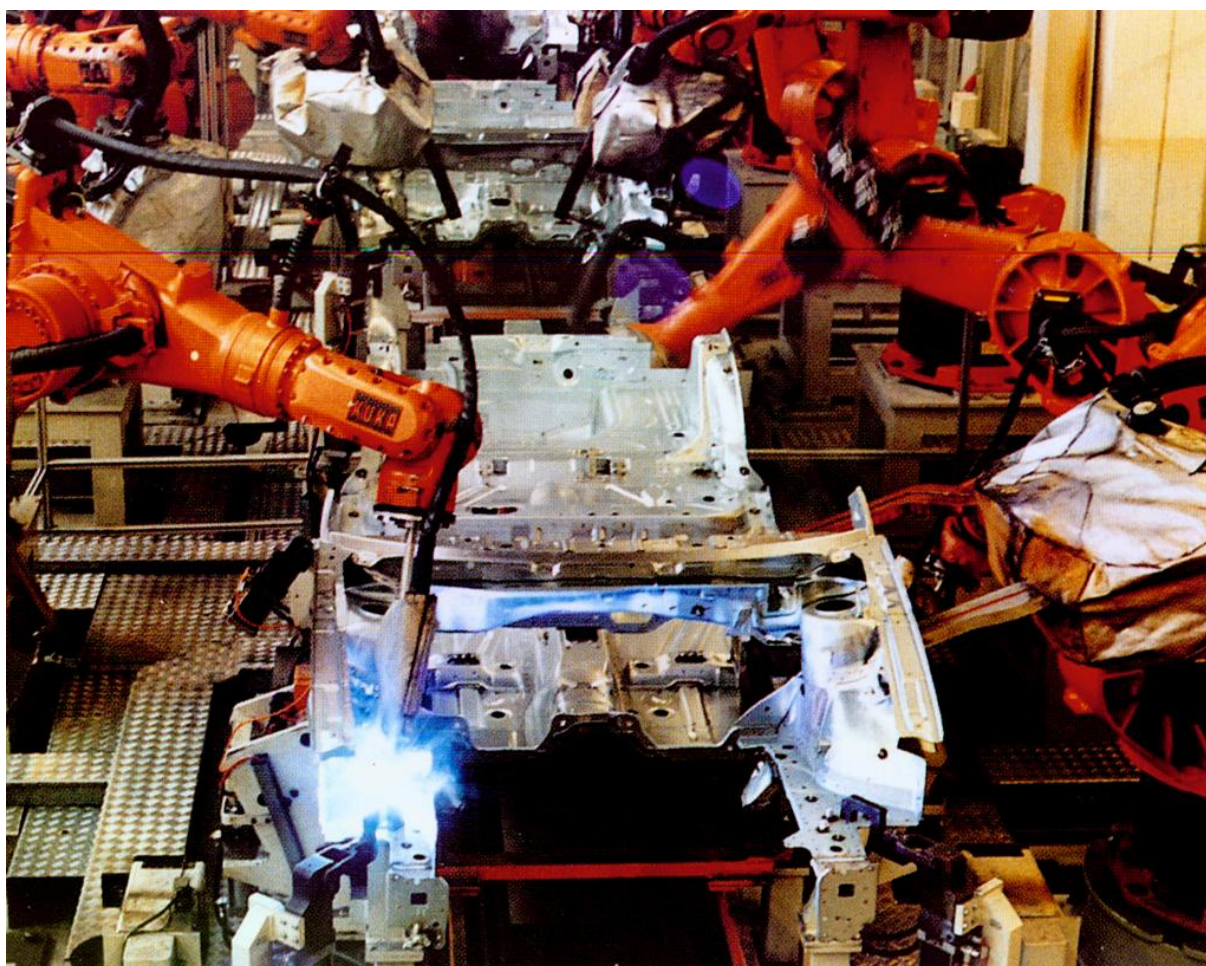
Pozinkované plechy jsou v současné době stále častěji používány v automobilovém průmyslu, ve stavebnictví, vzduchotechnice, nábytkářství a výrobě domácích spotřebičů. Tloušťka zinkového povlaku se pohybuje od 5 do 20 mikrometrů a požadavkem při spojování je nepoškodit povlak který katodickým účinkem chrání základní materiál. Při klasickém svařování způsobují páry zinku, které se odpařují při 906 °C, pórovitost svaru, neprůvary a trhliny. Pro spojování těchto plechů byla vyvinuta metoda MIG – pájení křemíkovým bronzem CuSi3, CuSi2 nebo hliníkovým bronzem CuAl8, CuAl8Ni2 kterým se pozinkované plechy spojují v intervalu teplot 1030 až 1080 °C.

MIG –pájení se provádí impulsním proudem do 350 A v ochranné atmosféře Ar nebo Ar + 2,5 % CO₂.

Výhody MIG - pájení: minimální opal povlaku vedle svaru i na spodní straně plechu, svar bez koroze – katodická ochrana v těsné blízkosti svaru, žádné dodatečné úpravy materiálu, minimální tepelné ovlivnění materiálu a deformace, možnost robotizace.



Obr. 8. 34 Pohled na MIG pájený spoj pozinkované oceli – vlevo
řez spojem - vpravo



Obr. 8. 35 Pohled na MIG pájení pozinkované oceli při výrobě karoserií automobilů

8.11.9 Další speciální způsoby svařování v ochranných plynech

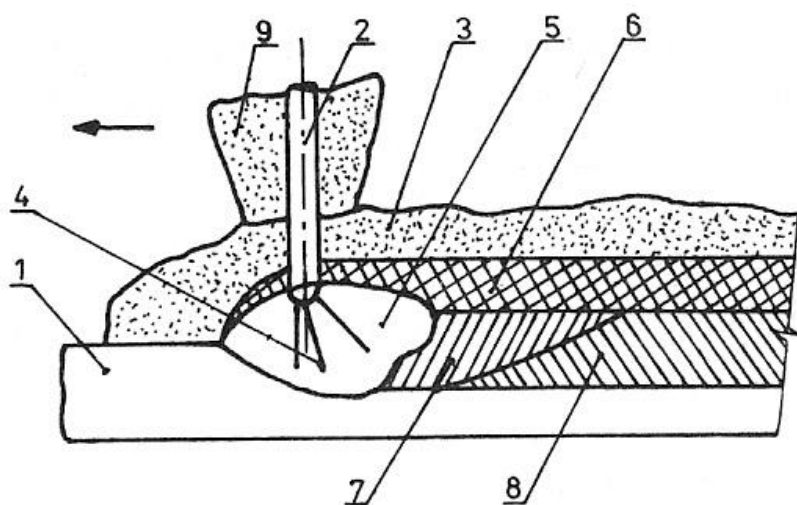
- svařování s přívodem horkého drátu do oblouku (MAG - HW). Drát o průměru 1,2 až 2,0 mm je ohříván přídavným zdrojem na teplotu cca 1450 °C a přiváděn do svarové lázně. Úspora energie až 50%.
- svařování s přidáváním studeného drátu do oblouku (MAG – CW) Úspora energie až 25%.
- Svařování [orbitální MAG](#) pro [tepelné výměníky](#)

Tab. 8. 11 Vady svarů při MIG/MAG svařování

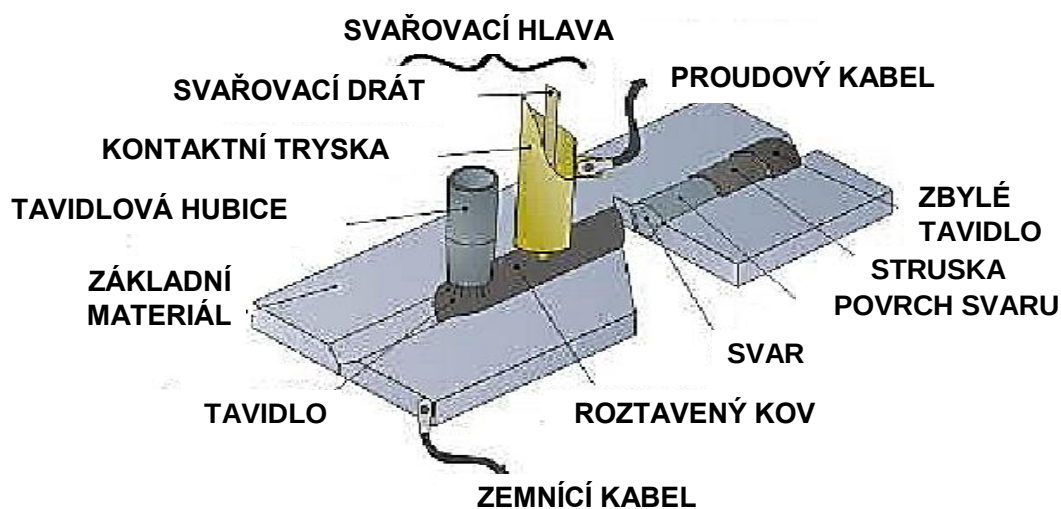
NÁZEV VADY	PŘÍČINA VADY
Trhliny za horka trhliny za studena	Výskyt ve spodních vrstvách vícevrstvých svarů u ocelí s obsahem uhlíku kolem 0,3 %, vysoká rychlost svařování, rychlé ochlazování – nesprávný přehřev, nízké napětí a vysoký proud, vysoký obsah síry v oceli, nevhodný profil svaru, nevhodný přídavný materiál u vysokolegovaných ocelí.
Pórovitost na povrchu vnitřní	Nedostatečná plynová ochrana - průvan, náklon hořáku, vysoké napětí, znečištěný povrch elektrody, voda z chlazení hořáku. Znečištěné svarové plochy, vlhkost na materiálu, široká svarová mezera, rezavý povrch elektrody, rychlé kývání hořáku, nevhodný ochranný plyn, vysoký průtok plynu.
Nekovové vměstky	u vícevrstvých svarů – neočištěná, nepřetavená struska mezi housenkami.
Převýšený svár	nízké napětí, špatné vedení hořáku, vysoká rychlost svařování
Zápaly a vruby	vysoké napětí, špatné vedení hořáku, vysoký svařovací proud, vysoká rychlost svařování
Nedostatečný průvar	nízký svařovací proud, malá kořenová mezera, vysoké otupení svarové plochy, spoj ve špatné vzájemné poloze
Nadměrný rozstřík	nedostatečná indukčnost, malá nebo naopak velká délka oblouku, nízké nebo vysoké napětí
Úzký svár	nízké napětí vysoká rychlost, přímé vedení hořáku bez rozkyvu

9. SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM POD TAVIDLEM

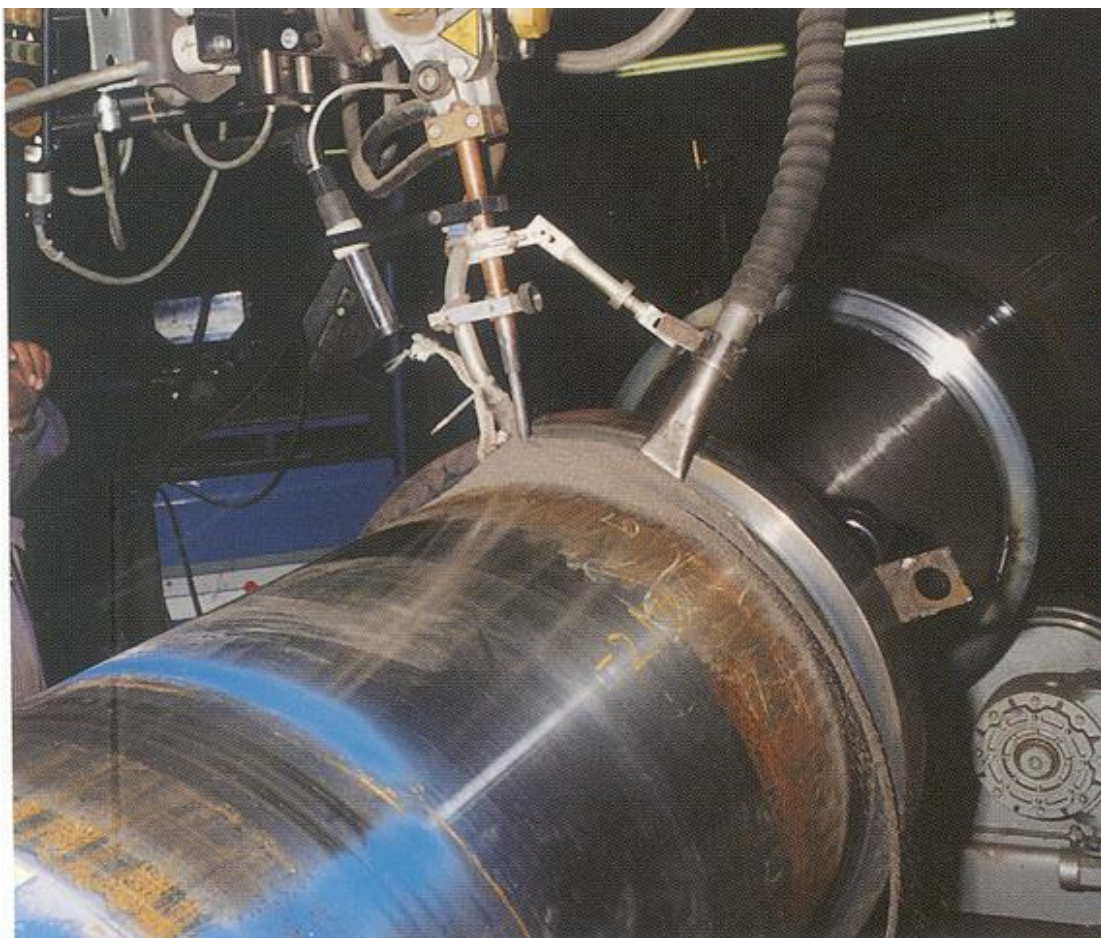
Svařování pod tavidlem je metoda založená na hoření oblouku pod vrstvou sypkého tavidla. Teplem oblouku se taví drát, základní materiál a část tavidla v kaverně vytvořené ve vrstvě tavidla a naplněné parami kovu a strusky. Vlivem rozměrné tavné lázně jsou difúzní pochody mezi natavenou struskou a svarovou lázní velmi intenzivní, což vede ke vzniku velmi čistého svarového kovu s dobrými mechanickými vlastnostmi. Na probíhající metalurgické reakce má také vliv vysoká teplota tavné lázně cca 1800°C a teplota kapek kovu odtavující se elektrody cca 2300°C, spolu s intenzivním promícháváním taveniny kovu a strusky.



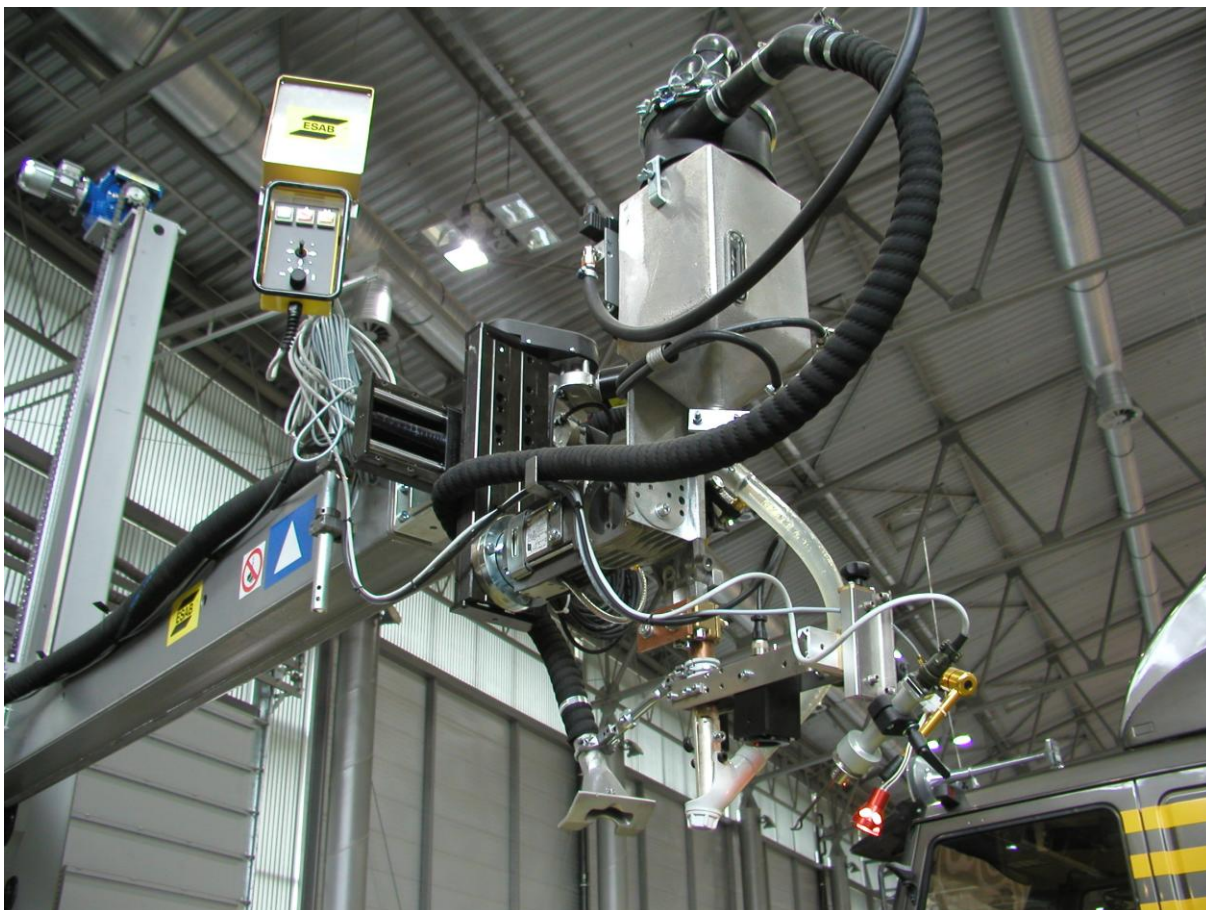
Obr. 9.1 Princip svařování pod tavidlem: 1- základní materiál, 2- přídavný materiál – drátová elektroda, 3- tavidlo, 4-, elektrický oblouk, 5- kaverna, oblast hoření oblouku, 6- natavená struska, 7- tavná lázeň, 8- násypka tavidla.



Obr. 9.2 Schematické znázornění svařování pod tavidlem



Obr. 9.3 Svařování pod tavidlem rotačních dílců



Obr. 9.4 Svařovací hlava pro svařování pod tavidlem na manipulačním výložníku

Charakteristické parametry svařování pod tavidlem jsou :

svařovací proud – 100 až 2000 A, napětí - 20 až 60 V.

Zdroje svařovacího proudu jsou především transformátory s výstupem střídavého proudu, které jsou vhodné pro neutrální a kyselá tavidla nebo vícedrátové svařovací zařízení. Pro bazické tavidla je vhodnější stejnosměrný proud s kladným pólem na elektrodě. Pro svařování pod tavidlem se používá plochá voltampérová charakteristika s možností samoregulace délky oblouku.

PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

Elektrody:

Plné dráty: ČSN EN 756 pro nelegované a jemnozrnné oceli - nejčastější průměry jsou od 2 do 5 mm. Pro spojovací svary ocelových konstrukcí.

Plněné dráty: ČSN EN 12 073 pro korozivzdorné návary. Dále návary Tvrdíkovu.

Páskové elektrody: ČSN EN 12 072 pro korozivzdorné návary. Rozměr 0,5 x 60 mm.

Plněné pásy pro tvrdé návary. Rozměr 2 – 3 x 40 mm.

Tavidla ČSN EN 760

Dle výroby se tavidla dělí na:

- Tavená - vyráběná v elektrických obloukových pecích
tavidlo pro nelegované materiály
- Aglomerovaná (keramická) - vyráběná z práškových komponentů a pojená vodním sklem. Tavidla s přesně daným chemickým složením vhodná pro legované materiály a pro navařování.
- Sintrovaná – spěkaná z práškových komponentů za působení tlaku. Vhodná pro legované materiály a pro svařování do úzkého úkosu z důvodu dobré odstranitelnosti strusky.

Dle chemického složení se tavidla dělí na:

- Mangan- silikátová, zirkon- silikátová, rutil - silikátová
- Aluminát – bazická, aluminát – fluorid – bazická
- Fluorid – bazická

Zrnitost tavidel se pohybuje mezi 0,25 – 2,5 mm.

Především aglomerovaná(keramická) a sintrovaná tavidla jsou hygrokopická a musejí se před použitím sušit – 2hod při teplotě 300°C.

Technika svařování.

Základem svařování pod tavidlem je jednodrátový způsob.

Vysoký výkon svařování spolu s širokým závarem je možné dosáhnout svařováním dvojdřátem, kde dráty menších průměrů (2,5) jsou umístěny vedle sebe. Dráty jsou napojené na jeden zdroj proudu.

Naopak charakteristické pro tandemové svařování je uspořádání drátů za sebou. Dnešní moderní zařízení běžně disponují dvěma až čtyřmi dráty, ale jsou nabízeny i šestidrátové.

Pro navařování se někdy používá přídavek studeného drátu, který zmenšuje hloubku závaru a zředění návaru.

Aplikace svařování pod tavidlem.

Svařování pod tavidlem se využívá od tloušťky 3 mm. Ekonomicky výhodné je především u tloušťek nad 50 mm, kdy se svařuje do tzv. úzkého úkosu s úhlem rozevření 0 až 8°. Jedná se o svařování tlustostěnných tlakových nádob, rotorů turín nebo chemických zařízení. Technologie je používána také při výrobě lodních, mostních, stavebních a jeřábových konstrukcí. Navařování vysokolegovaných ocelí v chemickém průmyslu je realizováno páskovou elektrodou.