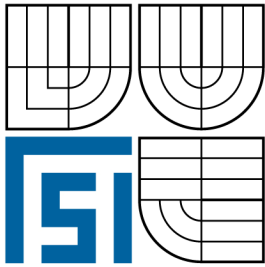


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV SLOŽENÍ OCHRANNÉ ATMOSFÉRY NA PŘENOS KOVU PŘI MIG/MAG SVAŘOVÁNÍ OCELI

INFLUENCE OF SHIELDING GAS COMPOSITION FOR METAL TRANSFER
DURING MIG/MAG WELDING OF STEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

IVO DOHNAL

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV DANĚK, CSc

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dohnal

Ivo

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství
(2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv složení ochranné atmosféry na přenos kovu při MIG/MAG svařování oceli

v anglickém jazyce:

Influence of shielding gas composition for metal transfer during MIG/MAG welding of steel.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Složení ochranné atmosféry má významný vliv na vlastnosti elektrického oblouku, charakter přenosu kovu tavicí se elektrody a tvar a vlastnosti svarové housenky.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor sil působících na kapku roztaveného kovu v elektrickém oblouku. Základní typy přenosu kovu. Plyny ve směsné atmosféře a jejich vlastnosti. Shrnutí závislostí přenosu kovu na složení atmosféry .

Seznam odborné literatury:

1. Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. I.vyd. Ostrava: Zeross. 2001. 396 s. ISBN 80-85771-81-0
2. ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou. I.vyd. Bratislava: Etema Press. 2003. 204 s. Fyzika Metalurgia Technológia Automatizácia. ISBN 80-968359-5-5
3. AGA a LINDE - Firemní podklady

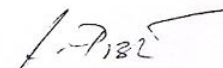
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

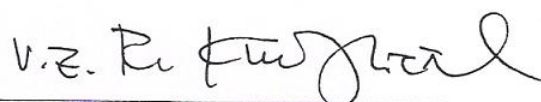
V Bmě, dne 29.11.2007

L.S.





doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit jaký vliv má ochranný plyn na kvalitu svaru a přenos kovu do svarové lázně při MIG/MAG svařování. Také je zde popsáno jaké druhy sil mohou působit při této metodě svařování. Dále jsou zde uvedeny různé druhy přenosů kovu z elektrody do svarové lázně.

U všech těchto problematik jsou uvedeny schematicky obrázky, které jasně vystihují danou problematiku.

Klíčová slova: svařování MIG/MAG, ochranná atmosféra,

ABSTRACT

This bachelor work evaluates influence of shielding gas to quality of contention and metal transfer into the bath welding for MIG/MAG welding of steel. Here are written kinds of forces which makes for this welding. Next different kinds of metal transfer from electrode to bath welding are written here.

Pictures are given for every problem, which exactly determinates given problem.

Key words: welding MIG/MAG, shielding atmosphere

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

DOHNAL, I. *Vliv složení ochranné atmosféry na přenos kovu při MIG/MAG svařování oceli.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 32 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce, a že jsem uvedl všechny použité zdroje.

V Brně dne 18. dubna 2008

.....

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc.Ing. Ladislavu Daňkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání.....	1
Abstrakt.....	3
Bibliografická citace:.....	4
Čestné prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah.....	6
1. Úvod do svařování elektrickým obloukem.....	7
2. MIG a MAG metody svařování.....	8
2.1. MIG (Metal Inert Gas).....	8
2.2. MAG (Metal Aktive Gas).....	8
2.3. Základní popis svářečky pro MIG a MAG.....	8
3. Přídavné materiály pro svařování metodou MIG/MAG.....	12
4. Používané ochranné plyny.....	13
4.1. Argon.....	13
4.2. Helium.....	13
4.3. Oxid uhličitý.....	13
4.4. Kyslík.....	14
5. Základní typy přenosu kovu.....	15
5.1. Zkratový přenos kovu.....	15
5.2. Přenos kovu v oblouku.....	16
5.2.1. Kapkový přenos.....	16
5.2.2. Sprchový přenos.....	16
5.2.3. Impulsní přenos.....	17
5.2.4. Rotující přenos.....	18
6. Síly působící na kapku svarového kovu.....	19
6.1. Gravitační síla.....	19
6.2. Tlaková síla proudícího ochranného plynu.....	19
6.3. Elektromagnetická síla.....	20
6.4. Síla způsobená vypařováním kapky kovu.....	22
6.5. Síla povrchového napětí.....	22
7. Vliv ochranné atmosféry na kvalitu svaru.....	23
7.1. Vzájemné působení ochranné atmosféry s kovem.....	23
7.2. Oxidace a deoxidace svarového kovu.....	24
7.3. Vliv parametrů svařování na obsah kyslíku ve sváru.....	25
7.4. Vliv plynů na stabilitu elektrického oblouku.....	26
7.5. Vliv plynů na přenos tepla a profil svarové housenky.....	26
8. Závěr.....	28
9. Literární podklady:.....	29
10. Seznam použitých symbolů a zkratk.....	30

1. ÚVOD DO SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

V současné době je to nejméně frekventovaný druh tavného svařování. Zdrojem tepla je elektrický oblouk, který vznikne mezi dvěma elektrodami tj. mezi svářecí elektrodou a svařovaným materiálem. Teplem elektrického oblouku dojde k lokálnímu natavení a spojení součástí. Proto se svařování řadí mezi tzv. nerozebíratelné druhy spojování součástí. Podle druhu svařovaného materiálu můžeme svařovat stejnosměrným nebo střídavým proudem. Střídavým proudem svařujeme např. hliník a jeho slitiny. Svařování elektrickým obloukem můžeme rozdělit do několika způsobů. Je to např.: svařování obalenou elektrodou, TIG, MIG, MAG. Toto rozdělení je jenom náznak jak se může dělit svařování elektrickým obloukem. Hlavní náplní této práce jsou metody MIG a MAG, o kterých se budu zde zmiňovat.

2. MIG A MAG METODY SVAŘOVÁNÍ

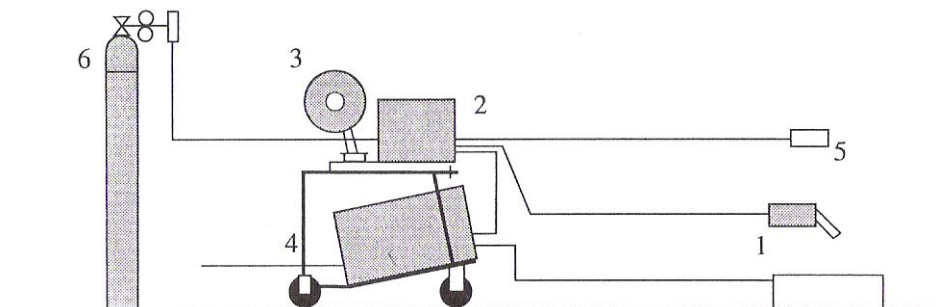
2.1. MIG (METAL INERT GAS)

Elektrický oblouk hoří mezi tavnou elektrodou a svařovaným materiálem. Jako ochranu proti oxidaci svarové lázně tvoří, jak už plyne z názvu metody inertní (netečný) plyn. Může to být argon, helium nebo jejich směsi. Při této metodě je + pól na elektrodě. Svařování se provádí stejnosměrným proudem. Těto metody využíváme při svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů.

2.2. MAG (METAL AKTIVE GAS)

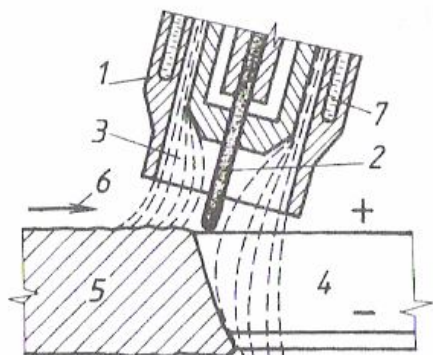
Také u této metody, elektrický oblouk hoří mezi tavnou elektrodou (přidavným materiálem) a svařovaným materiálem. Rozdílem této metody je, že nevyužívá inertní, ale tzv. aktivní plyn. Jako „aktivní“ plyn se používá oxid uhličitý. Lze také použít jeho směsi s argonem a kyslíkem. Oxid uhličitý není netečný plyn, tudíž při svařování nám svarovou lázeň částečně zoxiduje. Abychom tomuto jevu zabránili, používají se legované přidavné materiály. Legovány jsou nejčastěji manganem a křemíkem, které se lépe slučují s kyslíkem než se železem. Tato metoda je nejrozšířenější způsob svařování v ochranné atmosféře. Jo to z toho důvodu, že cena oxidu uhličitého je velmi nízká proti ceně netečných plynů, jako jsou argon a helium.

2.3. ZÁKLADNÍ POPIS SVÁŘEČKY PRO MIG A MAG



Obr.2.1 Základní popis svářečky pro metody MAG a MIG [2]

Obrázek 2.1 popisuje svářečku, kterou využíváme pro ruční svařování. Tato svářečka se skládá z následujících částí. Část 1 je hubice, kterou provádíme samotné svařování. Po stisknutí tlačítka na svářecí hubici aktivujeme posuv elektrody (svářecího drátu) a současně spojíme elektrický oblouk mezi přidavným a svařovaným materiálem. Část 2. je zařízení, které podává přidavný materiál ze zásobníku. Část 3. je zásobník přidavného materiálu (drátu). Zásobník je většinou cívka ne které je navinut přidavný materiál. Část 4. je svařovací zdroj. Pomocí svařovacího zdroje regulujeme hodnoty napětí a proudu. Tyto hodnoty jsou pro nás důležité, protože ovlivňují výchozí kvalitu svarového spoje. Hodnoty napětí a proudu nastavujeme podle svařovaného materiálu, jeho tloušťky, druhu přenosu kovu do svarové lázně atd.. Část 5. je dálkové ovládání svářecího zdroje a podávacího zařízení přidavného materiálu. U starších modelů svářeček není ještě zavedeno dálkové ovládání, tudíž svařovací parametry se nastavují ručně. Část 6. je tlaková láhev naplněná ochranným plynem. Ochranný plyn může být jak už bylo uvedeno výše oxid uhličitý, argon, helium. S tlakovou láhví bývají většinou použity ještě další prvky pro přenos ochranné atmosféry do místa svařování. Jsou to redukční ventil, průtokoměr, predehřivač plynu.



1.svařovací hubice, 2.přídavný materiál, 3.ochranná atmosféra, 4.základní materiál, 5.svar, 6.směr svařování
7.chladicí voda, + , - polarita

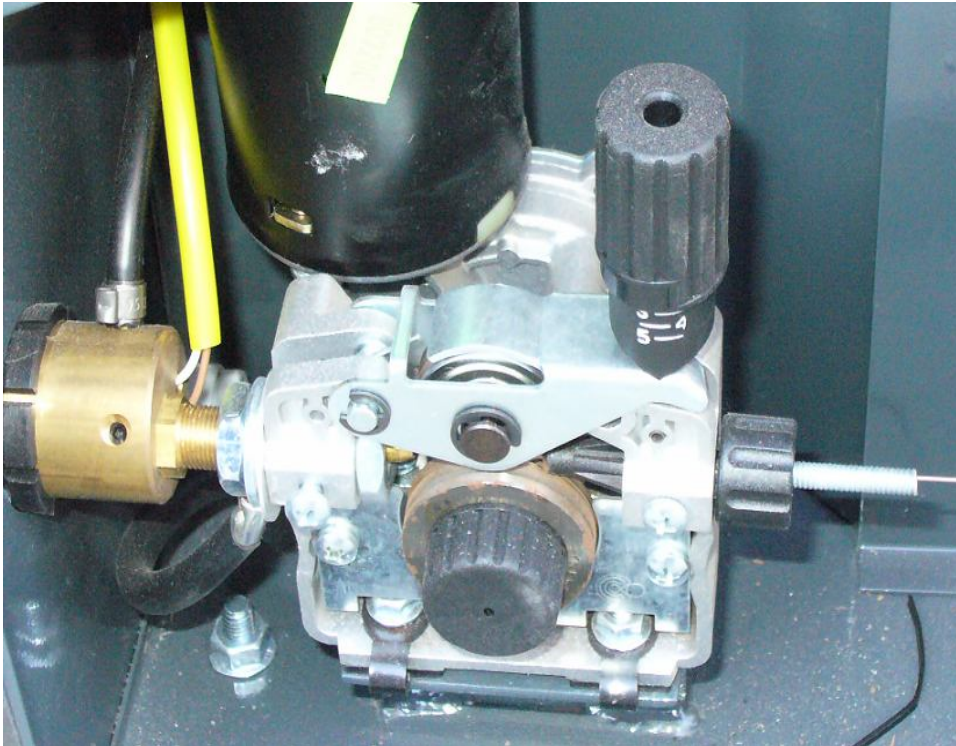
Obr. 2.2 Svařovací hubice [3]

Obrázek 2.2 popisuje jednotlivé části svařovací hubice. Zde je vyobrazeno jak může vypadat svařování metodou MAG. U většiny případů svařování tohoto druhu používáme stejnosměrný proud. Podle zapojení svařovací elektrody můžeme rozdělit na přímou nebo nepřímou polaritu. Nepřímá polarita zapojení znamená, že přídavný materiál je zapojen na kladném (+) pólu svařovacího zdroje. Přímá polarita je přesný opak nepřímé. Přídavný materiál je zapojen na záporném (-) pólu svařovacího zdroje. Podle polarity zapojení můžeme ovlivňovat tvar a kvalitu svarového spoje. Obrázek 2.2 zobrazuje nepřímou polaritu zapojení přídavného materiálu.



Obr.2.3 Dilenská MAG svářečka

Obrázek 2.3 je doplněním obr. 2.1 Zde na obrázku je vyobrazená klasická dílenská svářečka. Tato svářečka využívá oxidu uhličitého jako ochranné atmosféry. Tedy jedná se o MAG svářečku. Přídavný materiál je zde např. ve „tvaru“ drátu, který je navinut na cívce. Cívka je umístěna uvnitř svářečky. Podávání přídavného materiálu je zde zajištěno pomocí dvojkřadkového mechanismu. Křadkový mechanismus pro podávání přídavného materiálu můžeme vidět v levém dolním rohu svářečky. Tímto křadkovým mechanismem si můžeme regulovat přítlak na přídavný materiál, který prochází mezi křadkami.

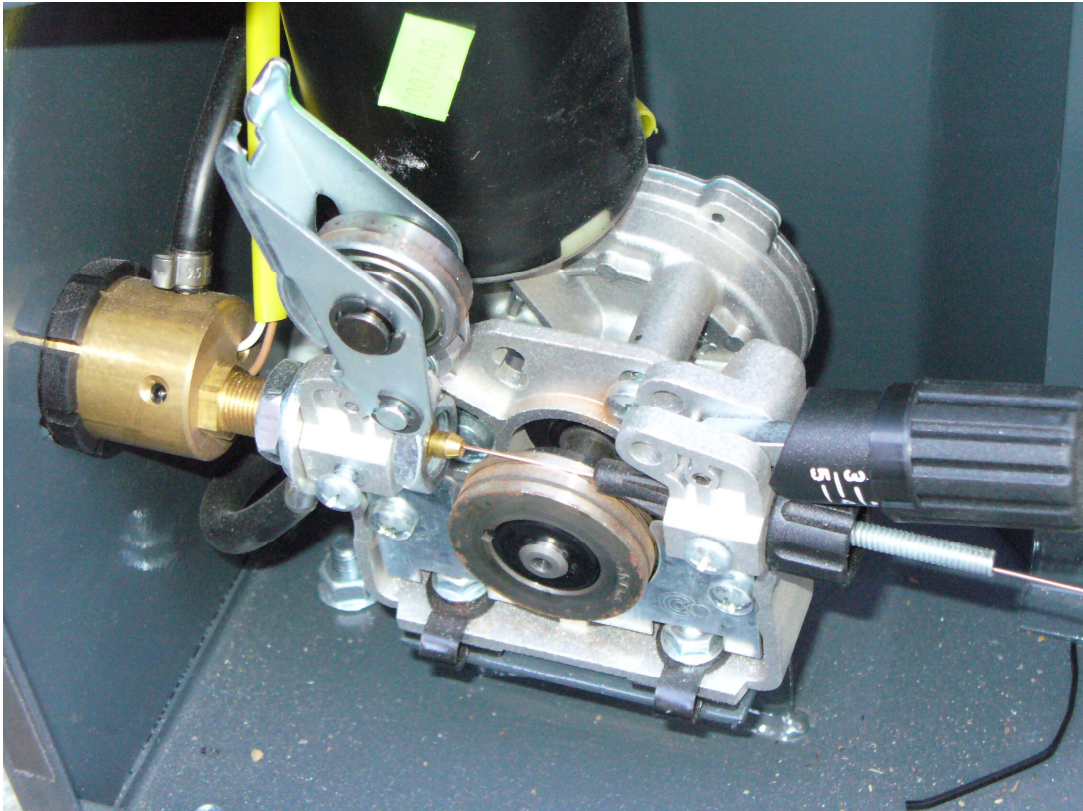


Obr2.4 Podávací mechanismus přídavného materiálu

Obrázek 2.4 ukazuje dvojkladkový podávací mechanismus připravený ke svařování. Jsou zde detailně vidět obě kladky a šroub, který reguluje přítlak na přídavný materiál. Na některé z podávacích kladek bývá vyraženo číslo. Toto číslo nám udává pro jaký průměr přídavného materiálu můžeme podávací kladku použít. Protože průměry přídavných materiálů se vyrábějí v několika řadách. Např. plné dráty jsou vyráběny v průměrech 0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0 a 2,4 . Nejběžněji se však setkáme s průměry 0,8 až 1,6 mm.

Na obrázku 2.5 jak vypadá kladkový mechanismus, jestliže chceme vyměnit cívku s přídavným materiálem. Zde jsou jasně patrné dvě drážky na spodní kladce. Dále je vidět i vyražené číslo na čelní straně kladky.

Na závěr těchto ilustrativních obrázků, bych chtěl také zdůraznit, že na podávacích kladkách jsou vidět známky koroze. Tato koroze nám může způsobit špatný průchod přídavného materiálu, čímž nám může následně ovlivnit proces svařování. Nejenom ochranná atmosféra a svařovací parametry nám mohou ovlivnit svařování. Stejně důležitou roli také hraje údržba svařovacího zařízení.



Obr.2.5 Podávací mechanismus při výměně přídavného materiálu

3. PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY PRO SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG

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 můžeme zakoupit v širokém rozsahu rozměrů a hmotností drátů – 5, 6, 10, 12, 16, 18, 25, 30 kg. Pro robotizovaná pracoviště se dodávají ve svitku baleném v lepenkovém balení o hmotnosti až 200 kg. Takové balení umožňuje svařovat bez přerušování práce robota po dlouhou dobu.

Abychom mohli zaručit mechanické vlastnosti svaru a ostatní požadované parametry svaru, měli bychom používat cívky nebo svitky, které jsou opatřeny štítkem na kterém jsou tyto údaje od 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.

4. POUŽÍVANÉ OCHRANNÉ PLYNY

Základní funkcí ochranného plynu jako ochranné atmosféry je zabránit přístupu vzduchu do místa svaru. Místem, kde probíhá svařování je myšlen roztavený konec přídavného materiálu, svarová lázeň a její přilehlé oblasti. Kyslík obsažený v atmosféře způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Vhodnou volbou ochranného plynu můžeme ovlivnit druh přenosu svarového kovu do tavné lázně, stabilitu hoření oblouku, tvar výsledného svaru (housenky). Ochranné plyny také mají vliv na přenos tepelné energie do svaru, hloubku závaru a rychlost svařování.

4.1. ARGON

Je to jednoatomový plyn, který řadíme mezi tzv. vzácné plyny. Argon je nehořlavý, nejedovatý, bezbarvý a chemicky nereagující s ostatními prvky. Chemická netečnost je dána tím, že má uzavřenou valenční vrstvou. Tj. má přesně 7 elektronů. Má malou tepelnou vodivost a nízký ionizační potenciál 15,8eV. Z těchto důvodů se oblouk dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot. S použitím argonu elektrický oblouk hoří stabilně, i když použijeme menší svařovací napětí. Při svařování se čistý argon používá jenom výjimečně. Většinou se používá v kombinaci s jinými plyny. Např. pro svařování hliníku se používá v kombinaci s heliem. Argon má hustotu 1,784 Kg . m⁻³, je asi o 1,4 krát těžší než vzduch. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu.

Dnes je nabízena čistota argonu 99,995%. Materiály s vysokou afinitou ke kyslíku jako je titan, tantal a zirkon však vyžadují ochranu plynem vyšší čistoty 99,998% nebo 99,999%. Argon lze použít pro všechny svařitelné materiály.

4.2. HELIUM

Jako důsledek malé atomové hmotnosti, je třeba při svařování použít vyšší výtokovou rychlost, abychom dostali ekvivalentní ochranu jako u argonu. Helium je velmi drahý plyn. Čistý se používá jenom při svařování MIG, kde je potřeba vysoké energie. Prakticky helium jako ochranou atmosféru můžeme využít při svařování TIG. Helium je lehčí jak vzduch. Jeho hustota je 0,178 Kg.m⁻³. Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon. Ionizační energie helia je 24,6 eV (viz. Tabulka II.), je to ionizační energie vyšší než má argon. To je důsledek proč se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce oblouku.

Napětí na oblouku v heliu je výrazně vyšší než v argonu. 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, především hliníku a mědi včetně jejich slitin. Použitím helia ve směsi s argonem se zvýší hloubka závaru a také rychlost svařování. Svařování v čistém heliu vyžaduje také zdroje s vysokým napětím naprázdno až 100V a zapalování oblouku se provádí v ochraně plynu – argonu.

4.3. OXID UHLIČITÝ

Nejedovatý, bezbarvý, nehořlavý plyn. Používá se samostatně nebo jako směs s jinými plyny. Jako např. s argonem a kyslíkem. Hlavní výhodou oxidu uhličitýho je jeho nízká cena oproti argonu a heliu. Jeho hlavní využití je při svařování nízkouhlikových a nízkolegovaných ocelí. Jelikož oxid uhličitý má větší hustotu než vzduch (1,976 Kg . m⁻³) pozitivně ovlivňuje funkci plynové ochrany při běžných polohách svařování. Má vysokou tepelnou vodivost s vysokým přenosem tepla do svarové lázně. Vysoký přenos tepla do svarové lázně spolu s exotermickými oxidačními reakcemi způsobuje dobré natavení materiálu, hluboký průvar a dobré odplynění svarové lázně.

Oxid uhličitý způsobuje vysoké povrchové napětí na roztaveném konci elektrody, které se snaží udržet kapky na elektrodě. To má za následek, že kapky se oddělují o velkém objemu a zpravidla jejich poloměr je 0,8 mm. Kapky, které mají velký objem, způsobují obtížně odstranitelný rozstřík, který zvyšuje pracnost výroby svarů.

Aby mohl být oxid uhličitý použitelný, je třeba aby měl čistotu minimálně 99,5%. Zbytek tvoří nečistoty a vlhkost. Procentuální zastoupení vlhkosti by nemělo přesáhnout 0,04%. Litř kapalného oxidu uhličitého při 0°C a tlaku 760 torru dává 504,4l. Hranice pro udušení člověka je asi 15% oxidu uhličitého ve vzduchu.

4.4. KYSLÍK

Bezbarvý, nejedovatý, bez zápachu, nehořlavý. Ačkoliv je kyslík nehořlavý plyn, hoření podporuje. Proto se používá jako přídavný plyn. Ve směsích s argonem se používá v rozmezí 0,03 – 3 % a ve směsích s heliem je v rozsahu 1- 8 %. Dále se také může použít ve směsích s argonem a oxidem uhličitým. Napomáhá k malému rozstříku svarového kovu a zvyšuje svařovací teplotu, čímž zvyšuje tekutost svarové lázně a povrchové napětí roztaveného kovu, což je 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.

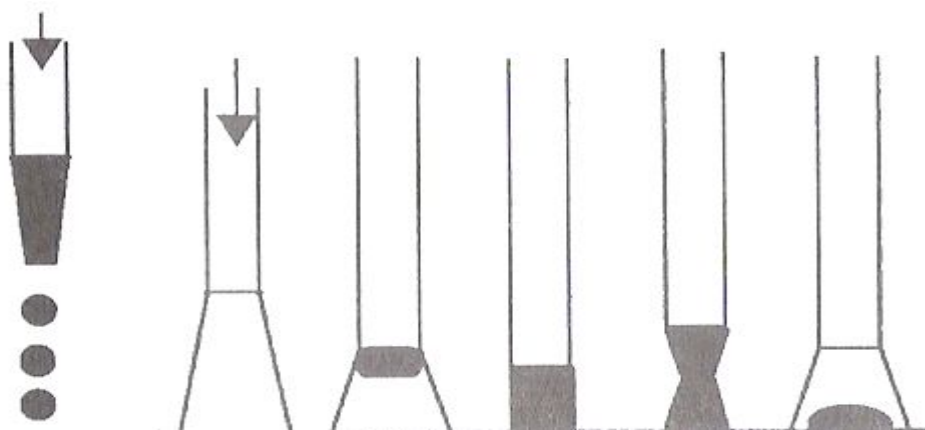
Poznámka: Všechny uvedené plyny, které chceme používat při svařování musejí být v určité čistotě, kterou udává norma.

Tabulka I. Porovnání vlastností ochranných plynů a vliv složení na průvar svaru [1]

Vlastnosti	Ar + CO ₂	Ar + O ₂	CO ₂
Závar <ul style="list-style-type: none"> normální poloha nucená poloha 	dobrý spolehlivější s rostoucím % CO ₂	dobrý může být kritický z důvodu předbílání 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 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

5. ZÁKLADNÍ TYPY PŘENOSU KOVU

Typ přenosu kovu z svařovací elektrody do svařovací lázně, ovlivňuje několik faktorů při svařování. Typem přenosu kovu ovlivníme faktory jako jsou např. tvar a kvalita povrchu svaru (housenky), stabilitu svařovacího oblouku, mechanické vlastnosti svařovaného kovu. Přenos kovu do svarové lázně můžeme rozdělit na dvě základní dělení. Je to zkratový přenos a přenos volným letem kapky kovu. Přenos kovu závisí hlavně na parametrech svařování. Je to svařovací napětí a proud. Dále však přenos kovu také ovlivní složení ochranné atmosféry, složení přídavného materiálu a také technika svařování.

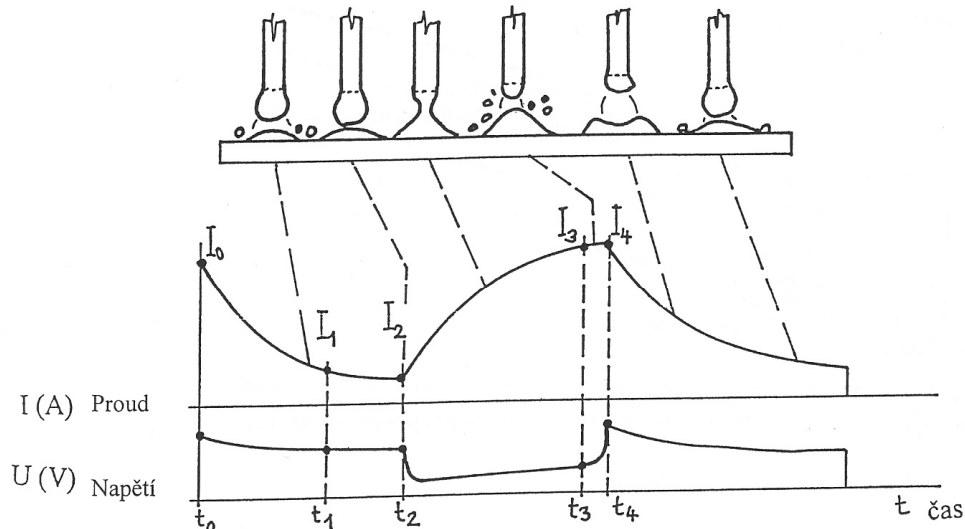


Obr. 5.1 Kapkový přenos (vlevo), zkratový přenos (vpravo) [2]

5.1. ZKRATOVÝ PŘENOS KOVU

Vznikne zkratováním mezery svařovacího oblouku a tím tedy dojde k odtavení konce přídavného materiálu. Zkratování je zapříčiněno tím, že rychlost tavení elektrody je nižší než její přísun do místa svařování. Tedy rychlost tavení přídavného materiálu je menší než rychlost podávání. To má za následek, že přídavný materiál je ponořen do svarové lázně. Ve svarové lázni vznikne odporový ohřev přídavného materiálu. Po dosažení teploty tavení přídavného materiálu se část odtaví do svarové lázně. Tím se spojení přeruší a elektrický oblouk se znova zapálí. A takto se opakuje celý proces. Pomocí svařovacích parametrů, tj. napětí a proudu, můžeme nastavit frekvenci zkratů. Frekvence zkratů může být i víc jak 100 Hz. Frekvencí zkratů se myslí čas hoření oblouku. Výhodou této metody je, že se do svaru vnáší menší množství tepla. To má za následek tepelně nižší deformační účinek při svařování. Zkratový přenos lze uskutečnit ve všech druzích ochranných plynů.

Tento způsob svařování se využívá při svařování tenkých plechů, polohových svarů, vysokolegované oceli.



Obr. 5.2 Schématické znázornění zkratového přenosu kovu [2]

Na obrázku 5.2 je naznačena jedna perioda zkratového přenosu. Na začátku dochází k zapálení oblouku tj. v čase t_0 při proudu I_0 . Dále je vidět, že elektrický proud klesá a tím dochází k ohřívání svarové lázně teplem oblouku. Teprve až když se přídavný materiál dotkne svarové lázně, elektrický proud nám začne exponenciálně růst, tj. I_2 . V intervalech t_2 až t_4 se přídavný materiál začne odporově ohřívát. K oddělení kapky dochází v intervalu I_3 až I_4 . Interval I_3 až I_4 leží v hodnotách 250 – 300 A.

5.2. PŘENOS KOVU V OBLOUKU

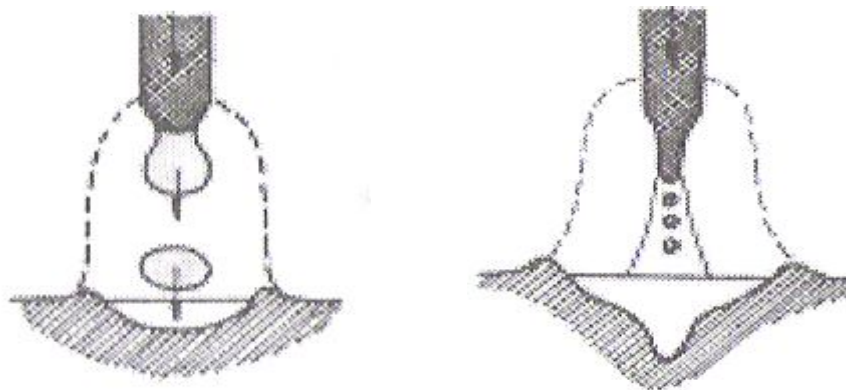
5.2.1. KAPKOVÝ PŘENOS

Kapkový přenos kovu vzniká při vyšším napětí, při kterém větší délka oblouku neumožní vytvoření zkratu. Jestliže použijeme při svařování nízké hodnoty svařovacího proudu, tak kapky roztaveného kovu jsou oddělovány za pomoci gravitační síly. Je to důsledek malého svařovacího proudu, čímž ostatní síly působící na kapku kovu můžeme zanedbat. Svařovací napětí se pohybuje v rozmezí 22 až 28V a svařovací proud kolem 190 až 300A. Kapkový přenos se někdy také nazývá jako „přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty“. Při tomto přenosu kovu je velikost kapek roztaveného přídavného materiálu větší než je průměr přídavného materiálu. Jestliže se zvýší svařovací proud, tak průměr kapek se snižuje. Se snižováním velikosti kapky se zvyšuje jejich počet, které do svarové lázně. Použitím ochranné atmosféry při metodách svařování MIG/MAG bohatých na argon, lze dokázat jasný přechod mezi kapkovým a sprchovým přenosem kovu. Aby k tomuto jevu mohlo dojít, musíme použít tzv. tranzitní svařovací proud. Tento proud má za následek přechod mezi kapkovým a sprchovým přenosem kovu do svarové lázně. Kapkový přenos kovu do svarové lázně se nedoporučuje používat, protože způsobuje velký rozstřík kovu a velmi hrubé svarové housenky.

5.2.2. SPRCHOVÝ PŘENOS

U sprchového přenosu kovu do svarové lázně je používáno větších hodnot svařovacích proudů. Svařovací proud je používán v rozmezí 200 až 500A a napětí 28 až 40V. Sprchový přenos lze použít v ochranné atmosféře argonu nebo směsí bohatých na argon (minimálně 80%). Použitím samotného oxidu uhličitého jako ochranné atmosféry nejsme schopni vytvořit sprchový přenos roztaveného materiálu. Díky vysokým hodnotám povrchového

napětí v oxidu uhličitým, nedosáhneme dostatečně drobné kapky kovu. Sprchový přenos je charakteristický klidným hořením oblouku a vysokým výkonem sváření ($3 - 12 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$). Svařovací proud je konstantní po celou dobu periody při oddělování kapky kovu. Svary se vyznačují malým rozstříkem, jsou hladké a čisté s plynulým přechodem do základního materiálu.



Obr.5.3 Sprchový přenos řízený (vlevo), proudící (vpravo) [2]

5.2.3. IMPULSNÍ PŘENOS

Impulsní přenos kovu do svaru, můžeme nazvat jako řízený proces letu roztavené kapky kovu do svaru. Řízený proces proto, že zde si můžeme nastavit průběh svařovacího proudu po dobu zkratu a po dobu letu roztavené kapky kovu. U impulsního přenosu kovu do svaru rozeznáváme dva druhy proudů. Je to proud základní a impulsní. Základní proud udržuje ionizaci sloupce elektrického oblouku a tím vedení elektrického proudu. Základní proud bývá obvykle kolem 20 až 50A. Impulsní proud, ten si můžeme časově i tvarově nastavit. Po celou dobu trvání impulsního proudu hoří elektrický oblouk. Takto dosáhneme toho, že přídavný materiál i svarová lázeň je stále ohřívána. Jestliže je správně nastavena kombinace mezi impulsním proudem a jeho době trvání, lze dosáhnout konstantního oddělování kapek přídavného materiálu do místa svaru. Abychom udrželi stabilní přenos kovu, tak musí platit, že rychlost tavení přídavného materiálu se musí rovnat rychlosti podávání přídavného materiálu. Rychlost podávání přídavného materiálu lze snadno spočítat pomocí vztahu:

$$v_d - \text{rychlost podávání přídavného materiálu} \quad v_d = f \cdot l$$

f – frekvence impulsů

l – délka přídavného materiálu, která nám vytvoří jednu kapku daného průměru

Zde můžeme nastavit velikosti odtavovaných kapek přídavného materiálu téměř na konstantní úrovni. Toto dosáhneme závislostí frekvencí pulsů na proudu. Např. jestliže máme vysoký svařovací proud, tak i frekvence jednotlivých pulsů musí být také vysoká. U nízkého svařovacího proudu je situace opačná. Jestliže chceme nastavit šířku impulsu a frekvenci, musíme se řídit vztahem:

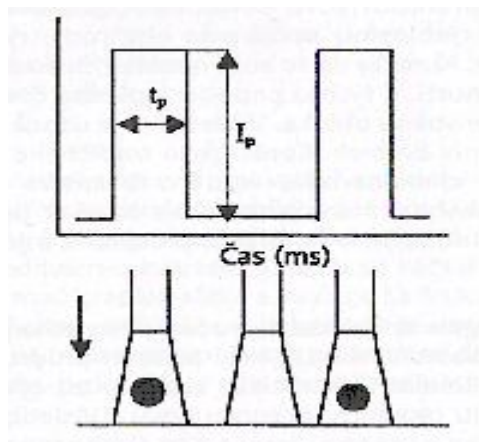
f – frekvence impulsu

T – čas impulsu

$$f = \frac{1}{T}$$

Jestliže je možno vypočítat parametry impulsního sváření, dá se realizovat tzv. synergické („jednotlačítkové“) ovládání. Synergické ovládání znamená to, že nastavíme na svářečce jeden parametr svařování a ostatní parametry se automaticky nastaví.

Proud (A)



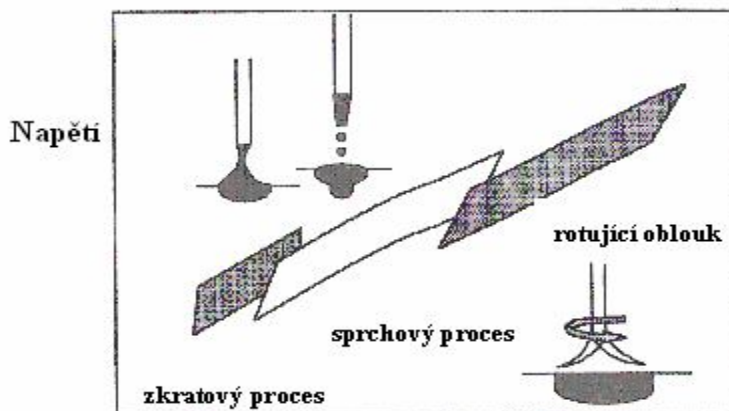
t_p – čas jednoho impulsu
 I_p – impulsní proud

Obr. 5.4 Přenos kapky kovu v čase jednoho impulsu [2]

Obrázek 5.4 ukazuje pravoúhlý průběh proudu. Můžeme se také setkat nejenom s tímto průběhem, ale i s průběhy oblými nebo s průběhy, které mohou být různě tvarovány. Výhodou této metody je, že do svaru nevnašíme tolik tepla, jako je tomu při použití konstantního proudu. Impulsní přenos má příznivé vlivy na deformační účinky způsobené vneseným teplem. Tímto způsobem lze svařovat tenké plechy i polohové svary. Jestliže použijeme impulsní proud vyšších hodnot, můžeme také svařovat přídavnými materiály větších průměrů. Větší průměry přídavných materiálů nám snižují cenu svařování, protože jsou levnější oproti přídavným materiálům s menším průměrem. Tato metoda nám umožňuje široké uplatnění, protože zde lze použít možnost nastavení napětí, proudu, frekvence a amplitudy proudu.

5.2.4. ROTUJÍCÍ PŘENOS

Tohoto přenosu lze dosáhnout různými způsoby. Může to být mechanickou rotací svařovací hubice, dále to může být použitím různých směsí ochranných plynů, vysokým výletem elektrody a také vysokými hodnotami svařovacích proudů a napětí. Rotování roztaveného kovu vzniká díky vysoké proudové hustotě za působení elektromagnetických sil. Vzájemným působením ochranné atmosféry a velkým vysunutím přídavného materiálu z svařovací hubice, způsobí to, že svařovací oblouk nám začne rotovat. Rotující pohyb roztaveného kovu může dosáhnout rychlosti 800 až 1000 ot/min. Rotační přenosem dosáhneme dobrého průvaru, ale také příznivě ovlivníme kraje svaru. Z obrázku 5.5 je vidět, že při rotujícím oblouku dostáváme téměř stejnoměrný průvar.



Obr.5.5 Závislost napětí na rychlosti podávání elektrody [2]

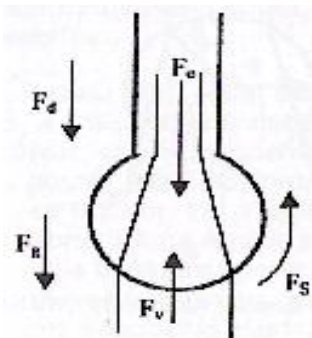
Rychlost podávání elektrody

6. SÍLY PŮSOBÍCÍ NA KAPKU SVAROVÉHO KOVU

Na kapku kovu nám působí následující síly: gravitační F_g , tlaková síla proudícího ochranného plynu F_d , elektromagnetická síla F_e , síla způsobená vypařováním kapky kovu F_v , síla povrchového napětí F_s .

Ve chvíli kdy dochází oddělení kapky kovu, můžeme tyto všechny síly zapsat rovnicí statické rovnováhy následovně: $F_g + F_d + F_e = F_v + F_s$

Obrázek 6.1 nám přesně popisuje jak tyto všechny síly působí na kapku roztaveného kovu.



Obr. 6.1 Síly působící na kapku kovu [2]

Elektromagnetická síla F_e a síla povrchového napětí F_s mohou v jistých případech působit v opačném směru. Tyto okolnosti budou však uvedeny při rozboru jednotlivých sil.

6.1. GRAVITAČNÍ SÍLA

Gravitační sílu můžeme obecně vyjádřit jako $F_g = mg$, kde m je hmotnost kapky kovu a g je tíhové zrychlení. Hmotnost můžeme ale dále rozepsat jako $m = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$. ρ nám udává hustotu roztavené kapky kovu, R je poloměr kapky kovu. Odtud vyplývá, že můžeme tedy gravitační sílu rozepsat jako $F_g = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g$.

Důležitost gravitační síly je tehdy, když svařujeme nad hlavou nebo postupem od vrchu dolů a také když máme malé elektromagnetické síly. To je tehdy, když svařujeme nízkým proudem.

6.2. TLAKOVÁ SÍLA PROUDÍCÍHO OCHRANNÉHO PLYNU

Tato síla je závislá na rychlosti proudění, složení ochranného plynu. Je také dále závislá na rozměru odtavované kapky. Jestliže svařujeme nízkými proudy a kapky jsou relativně velké, má tato síla důležitou roli.

Tlakovou sílu proudícího ochranného plynu F_d můžeme popsat takto:

$$F_d = 0,5\pi v^2 \rho r_d^2 C_d$$

v – rychlost proudění plynu

ρ – hustota plynu

r_d – poloměr kapky kovu

C_d – koeficient proudění plynu

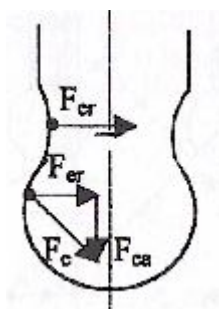
Koeficient zohledňující proudění plynu je jako funkce Reynoldsova čísla Re .

$$Re = \frac{2r_d \rho v}{\eta}$$

η – dynamická viskozita

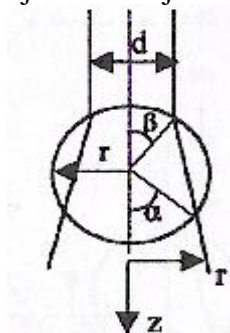
6.3. ELEKTROMAGNETICKÁ SÍLA

Když svařujeme tavící se elektrodou, tak v místě tavení přídavného materiálu se výrazně snižuje pevnost přídavného materiálu. Jak proud přechází v místě, kde se začíná tvořit kapka kovu, tak vytváří přídavný materiál magnetické pole. Toto vytvořené elektromagnetické pole má za následek tlak kolmý na osu elektrody a snaží se kapku oddělit. Tento jev, který působí významnou měrou na oddělení kapky nazýváme pinch- efekt.



Obr. 6.2 Elektromagnetické síly působící na roztavený konec přídavného materiálu [2]

Lze vidět, že v nejužším místě roztaveného přídavného materiálu působí pouze radiální elektromagnetická síla, axiální síla se v tomto místě nevyskytuje. V dalších místech to tak není, protože proudová vlákna nejsou navzájem k sobě rovnoběžná. Je to důsledek vzniku axiálních sil.



Obr.6.3 Znáznornění průchodu elektrického proudu kapkou kovu [2]

Elektrický proud , který prochází užším nebo širším místem a tím se mění i proudová hustota \vec{J} . Elektromagnetickou sílu též někdy můžeme nazývat jako Lorenzovu sílu. Lorenzova síla je dána obecně vztahem : $\vec{f}_e = \vec{J} \times \vec{B}$

\vec{J} - proudová hustota

\vec{B} - elektromagnetická indukce, která působí v celém objemu tekutého kovu

Radiální a axiální složky můžeme vyjádřit ve válcových (cylindrických) souřadnicích.

$$(f_e)_r = -j_z B_\theta$$

$$(f_e)_z = j_r B_\theta$$

Jestliže budeme předpokládat, že kapka je kulovitá (sférická), stejnoměrné rozložení proudové hustoty je potom síla F_e integrál hodnoty $(f_e)_z$ přes celý objem kapky roztaveného kovu.

Potom elektromagnetická síla se má následující tvar:

$$F_e = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi} x(\alpha, \beta)$$

μ_0 - permeabilita vakua, I - elektrický proud

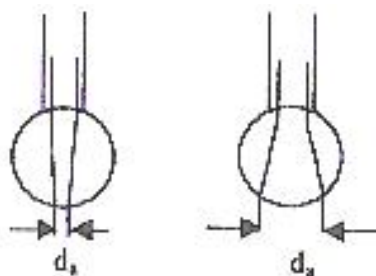
$$x(\alpha, \beta) = \log\left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}\right) - \frac{1}{4} + \frac{1}{1 - \cos \alpha} + \frac{1}{(1 - \cos \alpha)^2} \log\left(\frac{2}{1 + \cos \alpha}\right)$$

Úhly α a β jsou znázorněny na obrázku 6.3. Jestliže je v souladu průběh toku elektrického proudu, tak můžeme rovnici pro elektromagnetickou sílu F_e zjednodušit na tvar:

$$F_e = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi} \ln \frac{d_a}{d} \quad (a)$$

d - průměr elektrody

d_a - průměr hořícího oblouku



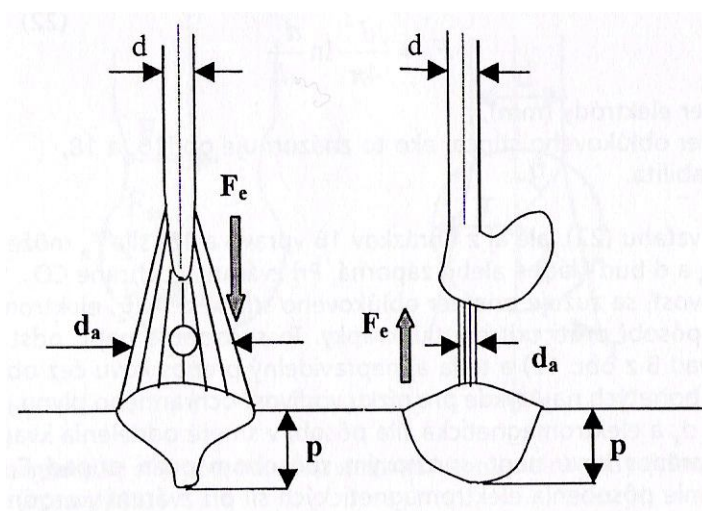
Obr.6.4 Průměry hořících oblouků podle použití ochranné atmosféry [2]

Jak je vidět z rovnice (a), tak elektromagnetická síla může být jak kladná, tak i záporná. Vše závisí na hodnotě d_a . Hodnotu d_a ovlivníme použitím ochranné atmosféry. Např. jestliže použijeme jako ochranou atmosféru oxid uhličitý, tak průměr hořícího oblouku bude menší než průměr elektrody. Následkem toho pak je, že elektromagnetická síla bude působit obráceně než je tomu na obrázku 6.1. To je důsledkem nepravidelného přenosu kovu do svarové lázně. U ochranných směsí bohatých na argon je tomu právě naopak.

Hodnoty rychlosti podávání přídatného materiálu v , průměr přídatného materiálu d a svářecí proud I jsou pro obě použité ochranné atmosféry stejné.

$$\begin{aligned} v_{CO_2} &= v_{Ar} \\ d_{CO_2} &= d_{Ar} \\ I_{CO_2} &= I_{Ar} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} \mathbf{Ar} & \mathbf{CO_2} \\ d_a & > d_a \\ p & > p \end{array}$$



Obr. 6.5 Porovnání působících elektromagnetických sil při použití argonu (vlevo) a oxidu uhličitého (vpravo) jako ochranné atmosféry [2]

6.4. SÍLA ZPŮSOBENÁ VYPAŘOVÁNÍM KAPKY KOVU

Síla způsobená vypařováním kapky kovu významněji působí tehdy, jestliže budeme svařovat vysokými proudy. Urychlování částic par unikajících z roztavené kapky a její průnik do plazmy oblouku vytváří tuto sílu, která působí proti oddělení kapky.

Tato síla lze vyjádřit: $F_v = \frac{m}{\rho_v} I$

m – celková vypařovaná hmotnost par za sekundu a ampér

ρ_v – hustota par

I – svařovací proud

6.5. SÍLA POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Tato síla má významný vliv při odtrhnutí kapky z elektrody. Síla povrchového napětí je způsobena jako důsledek gradientu teplot a gradientu povrchového napětí, které vznikají na tekutém povrchu kapky kovu. Pro tuto sílu byl odvozen empirický vztah:

$$F_s = \frac{mg}{f(r/a)}$$

funkce $f(r/a) = 1 - 0,4(r/a)$

m – hmotnost oddělené kapky

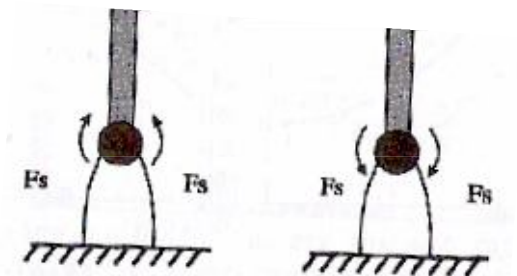
r – poloměr přídavného materiálu

g – tíhové zrychlení

ρ_m – hustota tekuté kapky

a – kapilární konstanta $a = (2\gamma / \rho_m g)^{\frac{1}{2}}$

Na tuto sílu F_s mají vliv tzv. povrchově aktivní prvky. Mezi tyto prvky patří kyslík, síra, selen ale také uhlík, hliník, dusík, fosfor. Některé prvky jsou vždycky obsaženy v přídavném materiálu, jako např. uhlík nebo velmi malé množství fosforu a síry ve formě nečistot. Jestliže přídavný materiál obsahuje velké množství povrchově aktivních látek, tak se zvyšující se teplotou povrchové napětí roste. To je důsledkem toho, že tekutý kov teče místa s nižší teplotou do míst s vyšší teplotou. Znamená to, že síla povrchového napětí působí ve směru oddělování kapky kovu. Tím se zlepší stabilita svařovacího procesu. Jestliže přídavný materiál bude mít málo povrchově aktivních látek, způsobí to jev opačný, tj. kov nám bude téci z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou. Prvky jako mangan a křemík nám povrchové napětí snižují.



Obr. 6.6 Přídavný materiál bez aktivních prvků (vlevo) a s aktivními prvky (vpravo) [2]

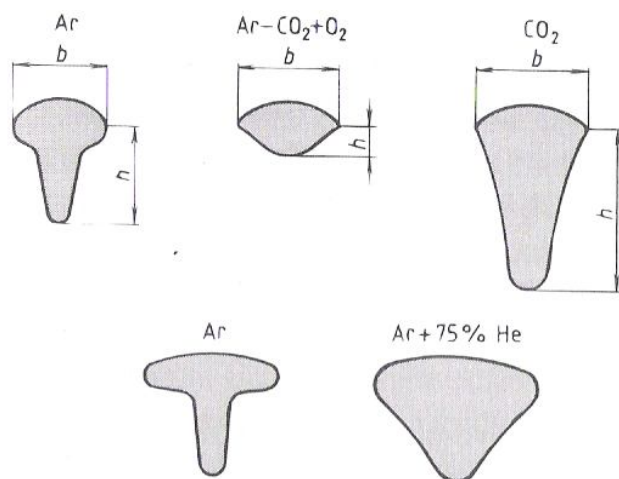
7. VLIV OCHRANNÉ ATMOSFÉRY NA KVALITU SVARU

Hlavní úkol ochranné atmosféry je jak již bylo uvedeno v odstavci 3. zabránění přístupu vzdušnému kyslíku do místa svařování a zabránit tak styku vzdušného kyslíku se svarovou lázní. Volbou ochranného plynu můžeme také ovlivnit přenos kovu do svarové lázně, přenos tepelné energie. Dále pak mohou ovlivnit průvar nebo rychlost svařování a jiné vlivy.

Volbou ochranné atmosféry můžeme ovlivnit následující parametry:

- dobré zapálení a hoření oblouku
- síly působící v oblouku
- rozměry a tvar svařovacího oblouku
- rozměry a tvar svaru
- jakost povrchu svaru
- mechanické vlastnosti svaru a jeho kvalitu

V současné době můžeme používat jednosložkové nebo více složkové ochranné plyny. Jako ekonomicky výhodný jednosložkový plyn je oxid uhličitý. Jako více složkový ochranný plyn můžeme použít směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem. Dále můžeme ochranné plyny rozdělit oxidační, redukční a neutrální. Mezi oxidační plyny patří oxid uhličitý, u redukčních plynů je to vodík a u neutrálních je to dusík. Při rozhodování o použití ochranné atmosféry musíme brát v potaz také technické a ekonomické ukazatele.

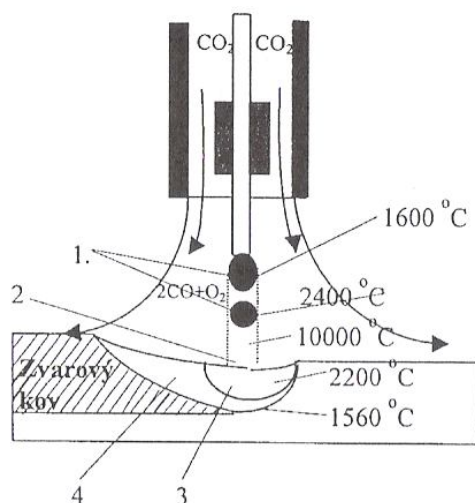


Obr. 7.1 Typické tvary svarů při použití čistých a směsných plynů [3]

7.1. VZÁJEMNÉ PŮSOBENÍ OCHRANNÉ ATMOSFÉRY S KOVEM

Působení plynné fáze s tekutým kovem při svařování v ochranné atmosféře plynu je souhrn interakcí mezi kyslíkem, uhlíkem, dusíkem, vodíkem, železem, dezoxidanty a slitinovými prvky, které probíhají v různých místech oblouku. Reakce, které se zde vyskytují probíhají ve vznikající kápce roztaveného kovu, v plazmovém obloukovém sloupci, v hořící části svarové lázně a také v chladnější části svarové lázně. Vzájemná interakce mezi kovem a ochranným plynem nejintenzivněji probíhá především pro vysokou teplotu atmosféry oblouku a pro vysokou rychlost proudu plazmy ($10^4 - 10^5$ cm/s). Taková rychlost proudu plazmy dává možnost dopravení reaktivních komponentů na roztavený povrch svarové lázně.

Produkty metalurgických procesů tj. chemické a fyzikální vlastnosti svarového kovu, budou záviset na kvalitativních a kvantitativních poměrech mezi reagujícími složkami a dále také na teplotě a na času trvání reakce. Z toho vyplývá, že podmínky průběhu metalurgických reakcí při svařování v ochranném plynu tavící se elektrodou jsou značně komplikované.

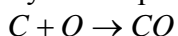


Obr. 7.2 Schematické znázornění metalurgických reakcí při svařování v ochranném plynu
1 – v kapce, 2 – v kořenu svařovacího oblouku, 3 – v horké části svarové lázně, 4 – v chladnější části svarové lázně [2]

7.2. OXIDACE A DEOXIDACE SVAROVÉHO KOVU

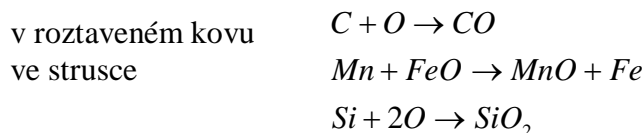
Kyslík a uhlík v ochranném plynu může v podmínkách elektrického oblouku reagovat s roztaveným kovem, ale také mohou reagovat navzájem. Do reakce vstupuje uhlík a kyslík z roztaveného kovu, dále také do reakce vstupují deoxidanty jako křemík, mangan, hliník, titan. Tyto deoxidanty jsou do reakce dodávány s přidávným materiálem. Při svařování metodou MAG přijme roztavený kov kyslík podle následujícího vztahu: $CO_2 \rightarrow CO + O$

Kyslík rozpuštěný v roztaveném kovu může reagovat s uhlíkem a tvořit CO



Oxid uhelnatý, který nestačí uniknout z tekutého kovu, vytváří póry ve svarovém kovu. Protože uhlík je vždy přítomen ve svarovém kovu, tak abychom zabránili tvorbě pórů, musíme redukovat aktivitu kyslíku kovovými deoxidanty.

V procesu deoxidace se kyslík z ochranného plynu váže s deoxidujícími prvky, reagujícími buď s disociovaným (rozštěpeným) kyslíkem nebo oxidem železa.



Hlavním cílem deoxidace svařování v aktivních plynech (metoda MAG) je zabránění vzniku pórů. Dalším cílem deoxidace je snížit obsah kyslíku, který zůstane ve svarovém kovu po zchladnutí. Posledním cílem deoxidace je docílit toho, aby oxidické vměstky, které zůstávají ve svarovém kovu, svojí velikostí, tvarem a složením přispěly ke vzniku příznivých struktur a tím k požadovaným vlastnostem svarového kovu.

Oxidace a deoxidace roztaveného kovu může probíhat ve čtyřech oblastech.

Jsou to:

- v kapce, která se tvoří na konci nataveného přídavného materiálu
- v kapce, která jde přes plazmu oblouku
- v hořící části svarové lázně
- v chladnější části svarové lázně

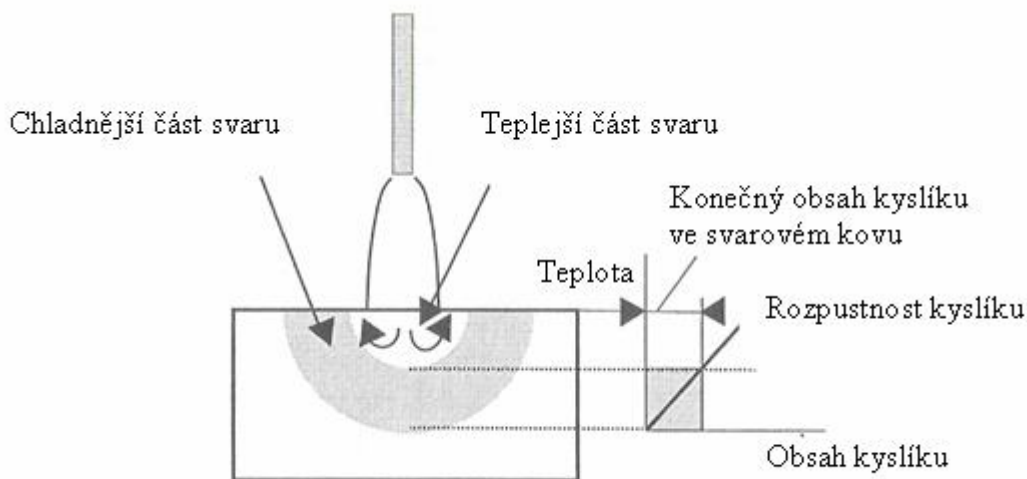
Tyto čtyři oblasti jsou nakresleny na obrázku 7.2.

Hlavním faktorem ovlivňující oxidaci kovu je koncentrace kyslíku v ochranném plynu, který je v kontaktu s tekutým svarovým kovem.

Pro reakce, které probíhají v roztaveném svarovém kovu, je vypracovaný jednoduchý model, který uvádí obrázek 7.3. Model je založený na předpokladu, že rovnováha mezi reagujícími prvky a precipituující struskou se udrží při nízké teplotě kovu a rozděluje svarový kov do dvou hlavních reakčních oblastí. Je to teplá část svarové lázně a studená část svarové lázně.

Teplá část svarové lázně je charakteristická současnou oxidací a deoxidací kovu, kde postupně probíhá oddělování strusky jako důsledek vysoké turbulence roztaveného kovu. V chladnější části svarového kovu precipituje struska ve formě disperzních částic, ve značné míře zůstává ve svarovém kovu pro jeho nedostatečný pohyb.

Hranice mezi teplou a studenou částí svarového kovu, která je důležitá z hlediska vyplavování nečistot neexistuje. Je ale výrazně závislá na podmínkách, které působí na čas, potřebný pro růst a vyplavování oxidických částí.



Obr. 7.3 Rozdělení sváru na teplejší a studenější část (vlevo) a závislost teploty sváru na obsahu kyslíku (vpravo) [2]

7.3. VLIV PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ NA OBSAH KYSLÍKU VE SVÁRU

Množství kyslíku ve svarovém kovu nezávisí jen na složení ochranné atmosféry a chemickém složení přídavného materiálu. Při určité ochranné atmosféře se mění se svařovacím proudem a napětím, ale také s rychlostí svařování. Jestliže chceme docílit jeho snížení ve sváru, docílíme tím zvýšením proudu, snížením napětí a snížením rychlosti svařování.

Teplota roztaveného kovu a ochranného plynu je hlavním faktorem určujícím oxidaci kovu v elektrickém oblouku a ve svarové lázni, která určuje intenzitu vzájemného působení roztaveného kovu s kyslíkem. Při svařování oxidem uhličitým absorbuje tekutý kov značné množství kyslíku. Děje se tak v důsledku malého parciálního tlaku kyslíku, protože natavený kov chrání jen ochranný plyn. V závislosti na podmínkách svařování a chemickému složení elektrody se obsah kyslíku ve svarové lázni pohybuje od 450 až 700 ppm (ppm je desetitisíciná procenta). Při svařování nízkými proudy dosahuje obsah kyslíku až 1000 ppm, čímž negativně ovlivňuje čistotu, ale také strukturu svarového kovu.

Při svařování v směsích bohatých na argon, obsah kyslíku ve svarovém kovu je nižší a pohybuje se od 250 až 500 ppm. To vytváří lepší podmínky na dosažení vyšší rázové houževnatosti svarového kovu.

Se zvyšujícím se svařovacím proudem vzniká vyšší emise par a dýmů, které brání oxidaci svarového kovu. Současně lze také předpokládat, že zvyšování proudu zvyšuje teplotu svarové lázně, čímž potom vytváří lepší podmínky na vyplavování produktů deoxidace. Snižování svařovacího napětí snižuje množství kyslíku ve svaru tím, že při zkratovém přenosu kovu do svarové lázně zkracuje fázi hoření oblouku a tedy čas, aby se svarová lázeň nasýtila kyslíkem. Rychlost svařování nemá velký vliv na oxidaci tekutého kovu, když snižování rychlosti mírně snižuje obsah kyslíku, protože zvyšuje časový interval ve kterém mohou nečistoty a vměstky vyplavat z tekuté svarové lázně.

7.4. VLIV PLYNŮ NA STABILITU ELEKTRICKÉHO OBLOUKU

Při svařování tavící se elektrodou (přídavným materiálem) musí být zabezpečeno stabilní hoření oblouku při všech typech přenosů kovů. Čistý argon má dobrou ionizační schopnost (viz. Tabulka II.), ale není vhodný pro svařování běžných konstrukčních ocelí, protože oblouk hoří neklidně a kvalita svaru je nízká. Pro dobrou kvalitu svařování ocelí jsou nutné oxidační reakce, jenž zaručí čistý svarový kov s dobrými mechanickými vlastnostmi bez pórů, spolehlivý průvar a pravidelný tvar svarové housenky. Z toho vyplývá, že malá příměs oxidu uhličitého nebo kyslíku je nutná i při svařování korozivzdorných chromnikových ocelí. Argon se používá ke svařování neželezných kovů, kde i minimální oxidace není dovolena. Oxid uhličitý má horší zapalování oblouku a průběh hoření oblouku je charakteristický ostrým praskavým zvukem při oddělování kapek. Vyžaduje také vyšší ionizační napětí než argon.

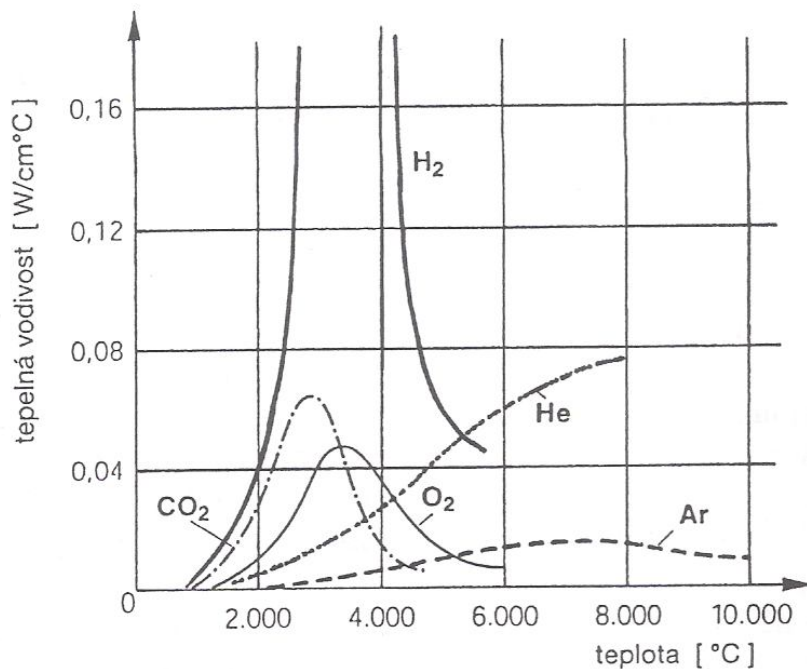
Vytvořením směsi z těchto plynů dosáhneme toho, že oblouk hoří s vysokou stabilitou a pravidelností.

7.5. VLIV PLYNŮ NA PŘENOS TEPLA A PROFIL SVAROVÉ HOUSENKY

Ochranné plyny mají různou tepelnou vodivost, 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 svaru je při použití helia hluboký i bez předehřevu svaru. Čistý argon se pro svařování vysokolegovaných ocelí již nedoporučuje, protože v argonu se dosahuje pouze mělký závar s hlubokým závarem v ose oblouku. Viz obr. 7.1 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.



Obr. 7.4 Závislost teploty plynu na tepelné vodivosti [1]

Tabulka II. Ionizační energie plynů [1]

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

8. ZÁVĚR

Hlavní náplní této práce bylo zjistit, jak můžeme ovlivnit proces svařování při použití různých druhů ochranných plynů.

Z uvedených zdrojů doporučené literatury jsem došel k závěru, že každý ochranný plyn má svoje určité vlastnosti, jak fyzikální tak chemické. Z čehož je patrné, že použití určitého ochranného plynu při svařování má svoje specifika. Při použití daného ochranného plynu musíme také brát v úvahu, jaký konkrétní materiál chceme svařovat tj. jestli se jedná o svařování oceli nebo o slitiny neželezných kovů jako je tomu u slitin mědi a hliníku. Dále jsou zde zmiňovány pojmy jako ionizační energie a tepelná vodivost ochranných plynů. Tyto vlastnosti plynů nám ovlivňují hoření a stabilitu svařovacího oblouku. Ionizační energii si můžeme představit jako kolik energie musíme dodat do svařovacího oblouku, abychom docílili jeho zapálení. Tepelnou vodivost můžeme chápat jako kolik tepla jsme schopni předat do svarové lázně. Např. plyn s vysokou tepelnou vodivostí použijeme pro svařování materiálu s velkou tloušťkou a na tepelně vodivé materiály (měď, hliník ..) .

9. LITERÁRNÍ PODKLADY:

- [1]. Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. 1.vyd. Ostrava: Zeross. 2001. 396 s. ISBN 80-85771-81-0
- [2]. ONDREJČEK, P. *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou*. 1.vyd. Bratislava: Eterna Press. 2003. 204 s. Fyzika Metalurgia Technológia Automatizácia. ISBN 80-968359-5-5
- [3]. HLUCHÝ, KOLOUCH, PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2 – 1.díl*. 2.vydání Praha: Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství. 2001 . ISBN 80-7183-244-8

10. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
I	Elektrický proud	[A]
U	Elektrické napětí	[V]
f	Frekvence	[Hz]
T	Perioda	[s]
v_d	Rychlost podávání přídavného materiálu	[m/s]
l	Délka přídavného materiálu	[m]
I_p	Impulsní proud	[A]
t_p	Čas jednoho impulsu	[s]
F_g	Gravitační síla	[N]
F_d	Tlaková síla proudícího ochranného plynu	[N]
F_e	Elektromagnetická síla	[N]
F_v	Síla způsobená vypařováním kapky kovu	[N]
F_s	Síla povrchového napětí	[N]
m	Hmotnost	[Kg]
ρ	Hustota	[Kg/m ³]
J	Proudová hustota	[A/m ²]
B	Elektromagnetická indukce	[T]
d	Průměr přídavného materiálu	[m]
p	Průvar	[mm]
v	Rychlost proudění plynu	[m/s]
η	Dynamická viskozita	[Pa . s]
f	Lorenzova síla	[N]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]